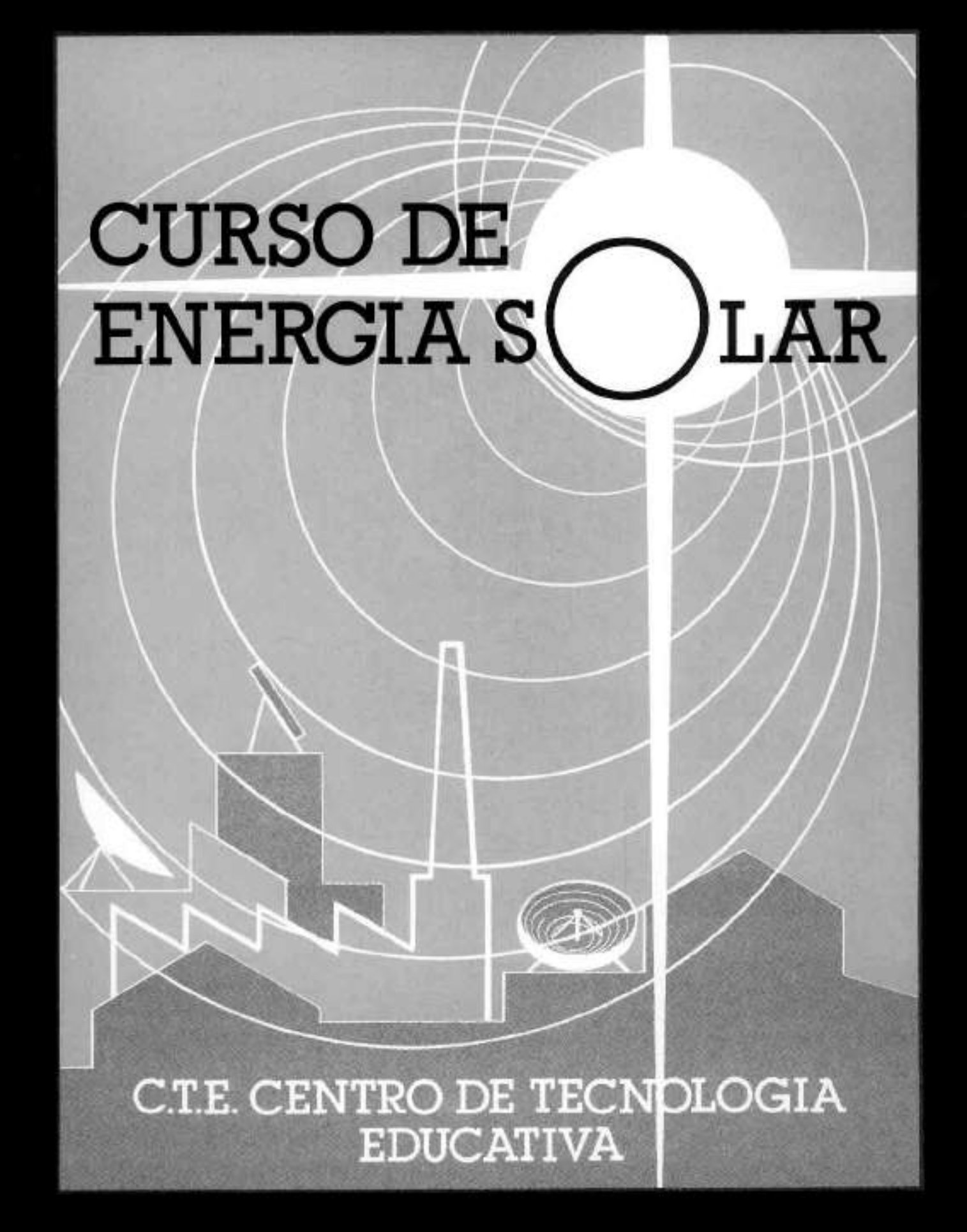




CURSO DE ENERGIA SOLAR

C.T.E. CENTRO DE TECNOLOGIA
EDUCATIVA

CURSO DE ENERGIA SOLAR

TOMO 4

ENERGIA SOLAR

El presente Curso de Energía Solar, especialmente pensado para la enseñanza a distancia, ha sido desarrollado por el siguiente equipo de profesionales:

- **Textos:** Jaume Ribot i Martín, *Ingeniero Industrial, ex-profesor de la Universidad Politécnica de Barcelona, miembro de ISES (International Solar Energy Society).*
- **Dibujos:** Antonio Escuder Torres.
- **Ilustraciones humorísticas:** Pere Rovira Castellà.
- **Fotografías:** J. Ribot y archivo de CTE.
- **Maquetación y montaje:** Albert Rovira Sumalla.
- **Supervisión didáctica:** José L. Barón Sesé.

© CTE-Centro de Tecnología Educativa, S.A.
Vía Augusta, 4, 6ª planta. 08006 Barcelona.

Tercera edición, abril 1995.
ISBN Obra completa: 84-7608-054-9.
ISBN Tomo 4: 84-7608-052-2.
D.L.: B-14008-1995.

Impreso en Imprimeix, S. Coop. Lda.
C/ Eduardo Maristany, 100. Badalona (Barcelona). ESPAÑA.

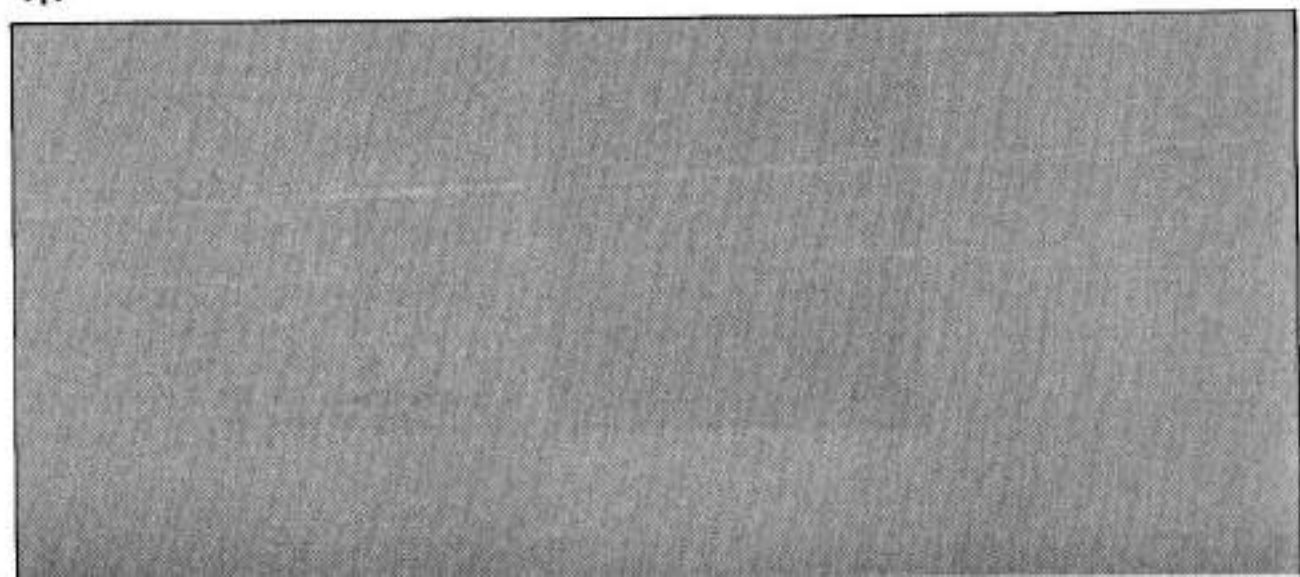
Reservados los derechos para todos los países.
Se prohíbe la reproducción total o parcial.

SUMARIO

	<u>Pág.</u>
Lección 14. El campo de colectores. Formas de colocación del campo de colectores. Montaje de colectores en serie y en paralelo. Esquemas mixtos. Esquemas de circulación del líquido.	5
Lección 15. Cálculo de una instalación solar de agua caliente sanitaria. Planteamiento del problema. Primera aproximación al cálculo de la superficie necesaria de paneles solares. Método de cálculo F-CHART. Explicación del método F-CHART (simplificado) para líquidos. Ejemplo de aplicación. Datos de interés. Formularios rellenos para el caso de ejemplo propuesto.	21
Lección 16. Utilización racional de una instalación de energía solar. Mantenimiento. Utilización racional de instalaciones de energía solar. Uso racional de instalaciones de agua caliente sanitaria por energía solar. Uso racional de instalaciones de calefacción por energía solar. Mantenimiento de la instalación.	47
Lección 17. Aspectos económicos de la energía solar. Conceptos generales. Ahorro solar. Explicación del método a seguir. Datos de interés. Formulario relleno para el caso del ejemplo propuesto.	61
Lección 18. Corrosión y prevención de la corrosión en instalaciones solares. Corrosión y tipos de corrosión. Zonas de la instalación donde se presenta la corrosión. La corrosión en el circuito hidráulico. Prevención de la corrosión.	79



LECCION 14



14. EL CAMPO DE COLECTORES

INTRODUCCION

Con esta lección terminamos la serie de temas destinados a describir una instalación de agua caliente sanitaria por energía solar, y lo hacemos describiendo en detalle el campo de colectores, su forma de montaje y las conexiones hidráulicas entre paneles.

FORMAS DE COLOCACION DEL CAMPO DE COLECTORES

Ya dijimos que en instalaciones pequeñas o muy pequeñas, propiamente no puede hablarse de campo de colectores, ya que se limitan a un reducido número de colectores (a veces uno solo), que puede o pueden formar parte de un kit, o estar simplemente apoyados en una pared del edificio o en una terraza o azotea. (Fig. 1).



Fig. 1.— Colector apoyado en una pared del edificio.

Cuando las instalaciones son algo mayores, es preciso disponer de una zona libre, despejada de obstáculos y de sombras circundantes, donde se instalarán los paneles. Estos pueden disponerse:

- En el suelo.
- En la azotea o terraza.
- Sobre el tejado.
- En la fachada.

La colocación en el **suelo** es preferible, ya que elimina muchos de los problemas que luego veremos que surgen si se instalan en las azoteas o tejados. Lo ideal para colocarlos en el suelo es que el terreno tenga cierta inclinación en la dirección norte-sur. En general, esto no va a ser así porque el terreno suele ser llano.

Un terreno **inclinado** tiene la ventaja de que la separación entre los paneles es **menor**, por lo que caben más paneles en la misma superficie, y que, gracias a la inclinación, los soportes de los paneles también son más pequeños, con el consiguiente ahorro económico. Recordemos que la separación entre los paneles viene dada por el problema de las sombras que se proyectan entre sí los paneles.

La gran ventaja de la colocación de los paneles en el suelo es que se pueden **anclar** en tierra fácilmente a través de los soportes, mediante la correspondiente cimentación de hormigón (Fig. 1 bis).

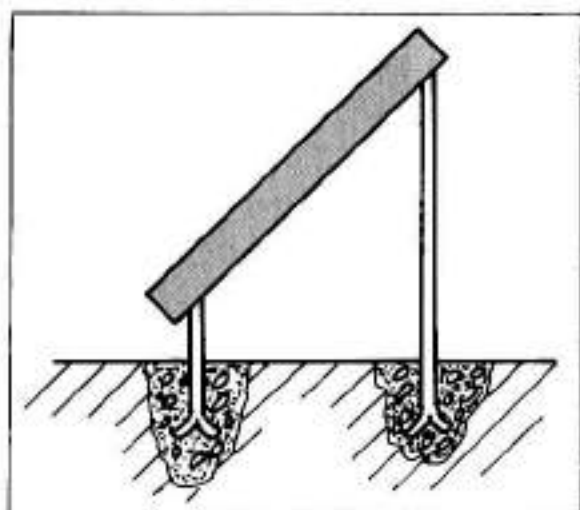


Fig. 1 BIS.— Cimentación del soporte de los colectores.

El suelo se suele llenar de una capa de piedras de color claro similar al balastro empleado en las vías férreas. La

colocación de estas piedras, además de impedir la aparición de vegetación y evitar el polvo, hace que al ser de color claro **reflejen** parte de la luz del sol que incide sobre los paneles, aumentando así el valor de la indicación efectiva.

La colocación de balastro exige que el terreno este protegido mediante una valla del acceso del público, pues estas piedras pueden resultar ser una tentación para destrozar la instalación por elementos incontrolados.

Si bien la colocación a nivel del suelo es ideal, ello en general no es factible debido a la falta de espacio, por lo que los paneles deben instalarse en terrados o tejados.

La colocación en terrados no ofrece, en general, problemas adicionales respecto a la colocación en el suelo, excepto en los siguientes puntos:

- Anclaje.
- Impermeabilización (goteras).
- Resistencia mecánica del terrado (respecto al sobrepeso instalado encima de él).

El **anclaje** y la **impermeabilización** son un problema que van íntimamente ligados. La estructura del subsuelo del terrado puede ser de varios tipos: generalmente el techo de la habitación que hay debajo de él estará formado por un conjunto de viguetas de hormigón y bovedillas. Las viguetas de hormigón se apoyan en sus extremos en las paredes maestras o en vigas maestras, las cuales están a su vez apoyadas en paredes maestras o en los pilares del edificio.

Encima de las bovedillas puede haber distintas opciones. La más sencilla (y también la más propensa a tener goteras) es colocar una capa de hormigón que contenga en su interior otra capa impermeabilizante. Encima de este hormigón se colocan las típicas rasillas (ladrillos de barro rojo cocido) que se ven habitualmente en los terrados (Fig. 2).

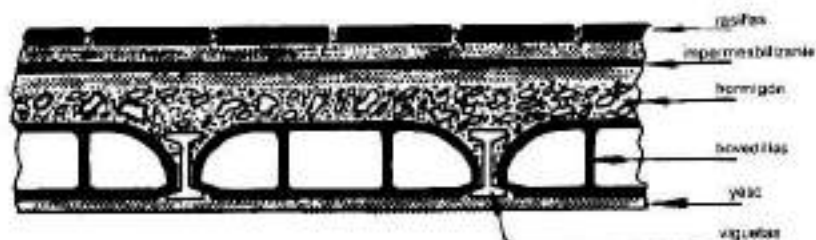


Fig. 2.— Terrado sencillo.

Como se observa, este tipo de terrado es muy rígido, y aun dotándolo de las correspondientes juntas de dilatación, es propenso -debido a los cambios de temperatura- a agrietarse. Estas grietas no son de temer respecto a la seguridad del edificio, pero sí respecto a las goteras, problema que se acentúa debido a la poca pendiente que posee este tipo de terrados. Esta configuración se da en naves industriales, viviendas sencillas y, por lo general, en edificaciones construidas con escasez de medios económicos.

La forma más correcta de hacer el terrado es el llamado "forjado catalán", que consiste en situar encima de las bovedillas tabiques de ladrillo sencillo de tres agujeros, de 20 a 60 cm. de altura, y sobre ellos dos capas de ladrillos grandes machihembrados (que encajan unos con otros). Encima de estas dos capas se coloca otra de material impermeabilizante (generalmente una tela asfáltica), y sobre ella las rasillas. Con este sistema, el terrado no es totalmente rígido, y puede dársele una buena pendiente que facilitará la rápida salida del agua de lluvia (Fig. 3).

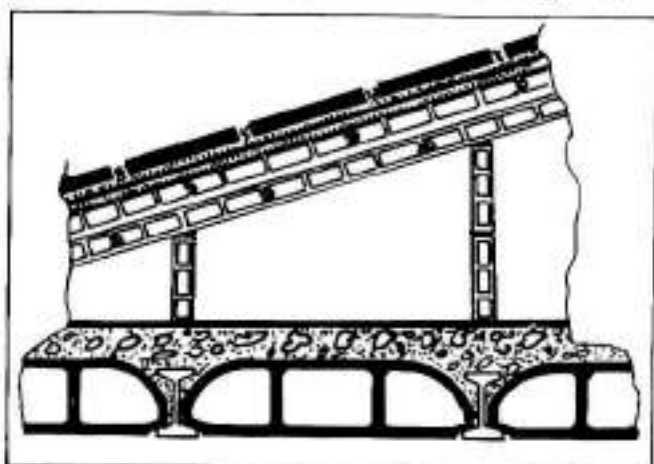


Fig. 3.— Forjado catalán.

Si deseamos situar los paneles en el terrado deberemos comprobar de que tipo es, puesto que el anclaje dependerá de su configuración.

En los terrados sencillos, los soportes se pueden atornillar directamente a la losa de hormigón, si bien será conveniente tomar precauciones respecto a las posibles goteras que pueden producirse por estas perforaciones efectuadas en la placa de hormigón (Fig. 4).

En el terrado con forjado catalán, la cosa es más compleja, pues la capa exterior, compuesta por las dos extensiones de ladrillos machihembrados y las rasillas, no está prevista para soportar esfuerzos mecánicos hacia arriba o laterales,



Fig. 4.— Fijación de los soportes en techados sencillos.

que serían los que se podrían producir en caso de vientos huracanados del Norte, por lo que es recomendable romper el terrado en ciertos puntos y apoyar directamente el anclaje en las viguetas, o mejor aún colocar vigas de acero encima del terrado cuyos extremos se apoyen en las paredes maestras del edificio. Sobre estas vigas de acero se atornillan los soportes de los paneles solares (Fig. 5). Si se tiene que romper el terrado en algún punto, hay que prestar la máxima atención al problema de las goteras.

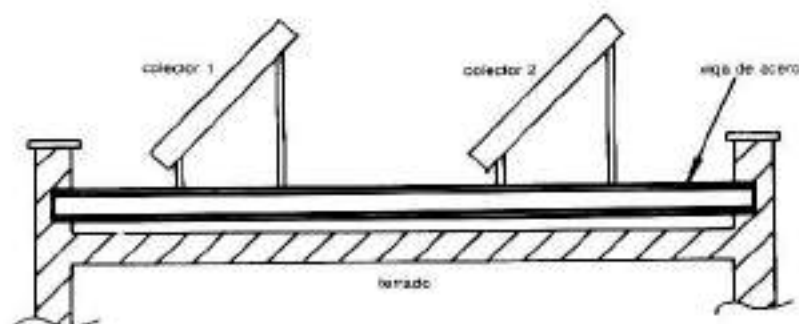


Fig. 5.— Colocación de los colectores sobre una viga de acero.

En los techados se pueden también apoyar los paneles, bien directamente encima de las tejas, bien construyendo un soporte tal que les de una mayor inclinación (Fig. 6).



Fig. 6.— Colocación de los paneles solares en los techados.

Los tejados suelen hacerse como el forjado catalán, pero proporcionándole mucha mayor inclinación, de modo que los tabiques de ladrillo sencillo pueden alcanzar dos y más metros de altura.

Los paneles solares se pueden colocar encima de las tejas, generalmente algunos centímetros separados de éstas y apoyados en un soporte, el cual a su vez se apoyará no sobre las tejas, sino sobre la estructura que hay debajo de ellas.

Si la inclinación del tejado es insuficiente, los soportes pueden estar más elevados en la parte posterior.

Otra posible solución es **empotrar** el panel, sustituyendo las tejas en esta zona (Fig. 7). Esta solución es muy recomendable desde el punto de vista estético, pero no lo es tanto respecto al tema de las goteras, pues debe darse salida al agua de lluvia procedente de las tejas superiores. Además, estos paneles situados en los tejados deben ser de muy alta calidad, pues generalmente el acceso a los mismos para su mantenimiento es difícil, cosa que no ocurre en los otros casos.

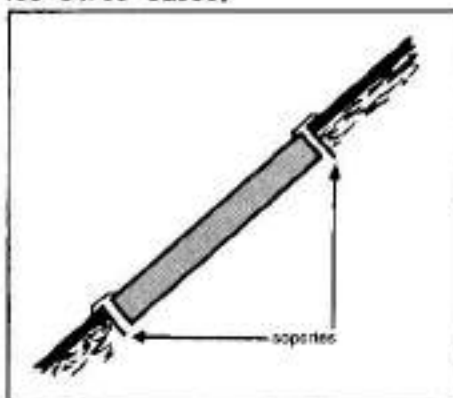


Fig. 7.— Paneles solares empotrados en tejados.

Si se colocan paneles solares sobre el tejado, debemos observar todas las precauciones de anclaje, especialmente si están más inclinados que el propio tejado, ya que en caso de que soplen vientos huracanados del Norte, la **presión dinámica del viento** tendería a **levantar** los paneles.

El **peso** de los paneles y soportes que se apoyan en las azoteas o tejados es en general pequeño. Los terrados y tejados se construyen de forma que pueden soportar una **sobrecarga mínima permanente** de unos 1500 N/m^2 , lo que equivale al peso de una masa de 150 kg repartida sobre una superficie de 1 m^2 . Ya hemos visto que los paneles pueden pesar unos 30 kg/m^2 , valor que incluso adicionándole

el peso de los soportes, tuberías, etc., es muy inferior a los 1500 N/m^2 previstos.

No obstante, si la construcción se aprecia débil, deberemos adoptar las oportunas medidas de refuerzo para evitar cualquier percance posterior.

Existe otra forma de situar paneles solares: en la **fachada**. En esta disposición, los paneles solares se colocan como si fueran toldos, dotándoles de la inclinación adecuada mediante unos soportes de hierro (Fig. 8).

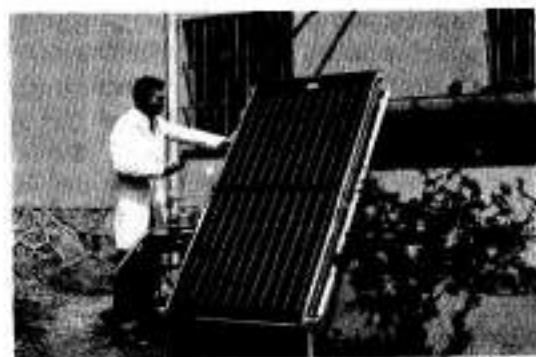


Fig. 8.— Paneles solares en la fachada.

El tipo de panel solar que más se presta a este tipo de colocación es el de disposición **horizontal**, en que el lado mayor se sitúa de modo horizontal. De esta forma, el panel no sobresale excesivamente del edificio y puede proteger del sol en verano, si se dispone adecuadamente en forma de alero, encima de ventanas, puertas o balcones.

MONTAJE DE COLECTORES EN SERIE Y EN PARALELO

Excepto en instalaciones muy pequeñas, se precisará, normalmente, un cierto número de colectores en lugar de uno solo, colectores se pueden instalar de varias maneras en consideración al sentido de circulación del líquido. En el montaje en **serie**, el líquido entra por la parte inferior de un panel y sale por la parte superior, entrando seguidamente por la parte inferior del siguiente panel, y así sucesivamente. El **caudal** es el mismo para todos los paneles situados en serie, y el líquido se va calentando progresivamente cada

vez que atraviesa un panel (Fig. 9).



Fig. 9.— Conexión de paneles en serie.

Como el rendimiento energético de un panel depende de la temperatura de salida, se comprende que el primer panel que atraviesa el líquido será el que proporcionará el máximo rendimiento, por estar el líquido más frío. El último panel tendrá un rendimiento pequeño. Por esta razón no deben colocarse muchos paneles en serie, ya que hacen bajar el rendimiento de la instalación. A lo sumo, se pueden colocar tres paneles en serie, y esto en aplicaciones que requieran temperaturas altas como es el caso de calefacción por convectores. En este supuesto cabe la posibilidad de que los distintos paneles colocados en serie no sean iguales, pudiendo hacerse el último de doble cubierta a fin de reducir las pérdidas de calor y poder trabajar a temperaturas altas con buenos rendimientos.

Los paneles también se pueden colocar en paralelo. En este caso, el caudal de líquido se reparte entre los distintos paneles. Si todos son iguales, cada uno de ellos será atravesado por un caudal igual al caudal total dividido por el número de paneles. En este caso los paneles trabajan con alto rendimiento, si bien la temperatura de salida de los mismos es moderada. Generalmente, este sistema es el utilizado para el calentamiento del agua caliente sanitaria, calefacción por suelo radiante y calentamiento de piscinas (Fig. 10).

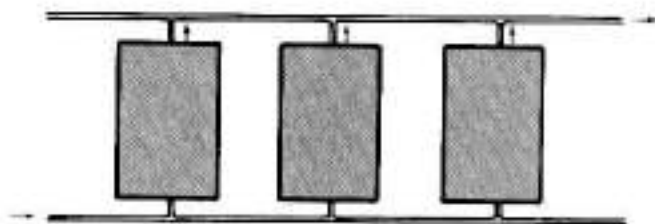


Fig. 10.— Conexión de paneles en paralelo.

Nótese que si se altera el caudal se pueden alterar las temperaturas de salida, pero si nos apartamos excesivamente del valor óptimo ($0,015 \text{ kg/s m}^2$ para el caso del agua), el rendimiento general de la instalación bajará.

La situación de los paneles en serie o en paralelo exige disponer de las correspondientes tuberías que enlacen los distintos paneles entre sí.

Según la forma de la conexión, determinados tipos de paneles se prestan más a ser colocados en serie o en paralelo. Los paneles con conexiones situadas en los laterales superior e inferior se prestan más bien para su instalación en serie, aun cuando pueden instalarse también en paralelo, disponiendo en este caso de dos tubos colectores exteriores.

Un comportamiento similar lo tienen aquellos paneles con conexiones en la parte posterior. Sin embargo, los paneles con 4 conexiones situadas en los laterales derecho e izquierdo son los más indicados para poder unirse fácilmente entre sí, formando una **batería** de paneles.

Una batería de paneles es un conjunto de paneles que están unidos entre ellos generalmente de forma rígida. Las baterías pueden hacerse en serie o en paralelo. Una batería en serie podría consistir de tres paneles situados uno encima de otro y convenientemente unidos. Una batería en paralelo consistirá, obviamente, en un conjunto de paneles unidos en paralelo (Fig. 11).

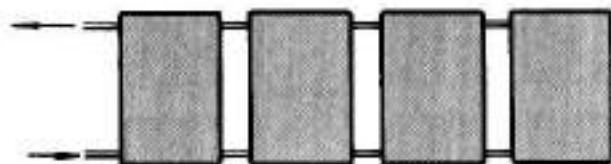


Fig. 11.—Batería de paneles solares.

En el caso de las baterías en serie, el número de paneles que se pueden poner está limitado por razones de eficacia; en las baterías en paralelo, el factor limitativo es la velocidad del líquido que circula por las tuberías colectoras, que no es aconsejable que sobrepase el valor de 1 m/s . No obstante, en paralelo pueden colocarse muchos más paneles que en serie.

Si los paneles tienen cuatro conexiones, se pueden montar formando conjuntos muy compactos. Este tipo de conexión permite unir un cierto número de ellos entre sí de forma sencilla. El inconveniente que tiene es que la batería no

puede ser muy extensa, puesto que el diámetro de los tubos que atraviesan los paneles es el mismo, y la velocidad del líquido en los extremos podría llegar a ser, en caso de haber muchos paneles, muy elevada, lo que produciría pérdidas importantes, y la necesidad de que las bombas de accionamiento fuesen de gran potencia, lo cual no interesa. De todas formas, es corriente montar baterías de 10 paneles y más.

En la conexión en paralelo, si se varía el diámetro de los tubos colectores exteriores, las baterías pueden tener un número de paneles considerable.

ESQUEMAS MIXTOS

Las baterías de paneles solares se instalan entre sí formando el campo de colectores, tanto en serie como en paralelo, comportándose cada batería como si fuese un solo panel y, por lo tanto, estando sujeta a las mismas propiedades que tiene la conexión de paneles en serie o en paralelo.

Así, pues, un montaje podría estar constituido, por ejemplo, por cuatro baterías de paneles conectadas entre sí, las cuales a su vez, consistirían en un conjunto de cinco baterías formadas por dos paneles en serie cada una. En total existirían 40 paneles en este montaje (Fig. 12).

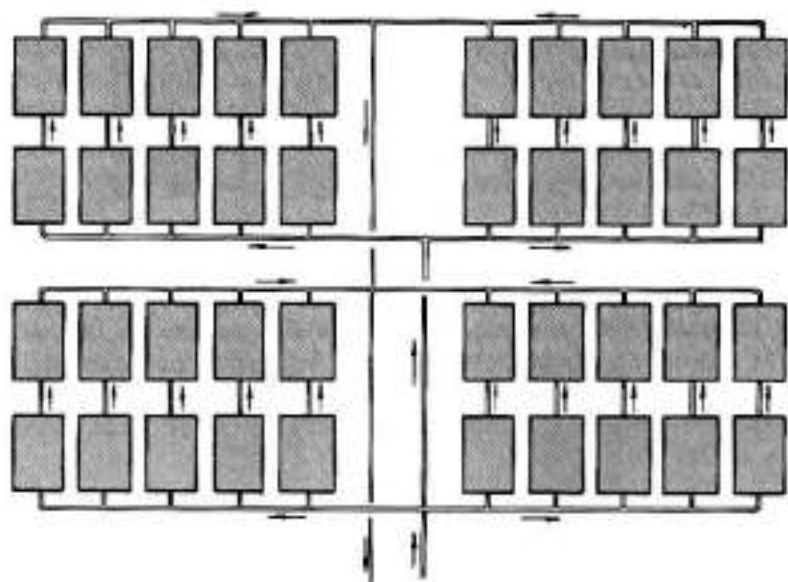


Fig. 12.— Conexión de paneles solares mixta serie-paralelo.

Como se observa, las posibilidades de combinación son elevadas. Ahora bien, no todas las combinaciones posibles ofrecen el mismo rendimiento. Así, si estos 40 paneles se unieran entre sí en serie, el resultado sería muy diferente del propuesto, mientras que si se unieran en paralelo, no diferiría excesivamente.

Con los conocimientos explicados anteriormente, teniendo bien en cuenta reducir al mínimo las longitudes de tuberías, y adaptarse al espacio existente, a buen seguro podrá disponerse de un montaje correcto.

La fijación de las tuberías a los paneles o de éstas entre sí se realiza, bien roscando los tubos mediante racords, por manguitos, o por soldadura.

Las uniones roscadas rígidas o las soldaduras suelen ser aconsejables en instalaciones pequeñas, debido a los problemas de dilatación que sufren los materiales de los paneles y de las tuberías en la oscilación térmica diaria.

En instalaciones grandes se suelen soldar, aunque lo más recomendable es hacer las conexiones mediante manguitos flexibles de materiales especiales que soportan perfectamente las altas temperaturas, o de manguitos semi-rígidos, que consisten en dos juntas tóricas de goma que se aprisionan entre la conexión (lisa, no roscada) del panel y el propio manguito. De esta forma se consigue una unión rígida, pero que permite cierta dilatación. (Fig. 13). En el caso de baterías muy largas en paralelo, puede ser necesario instalar compensadores de dilatación.

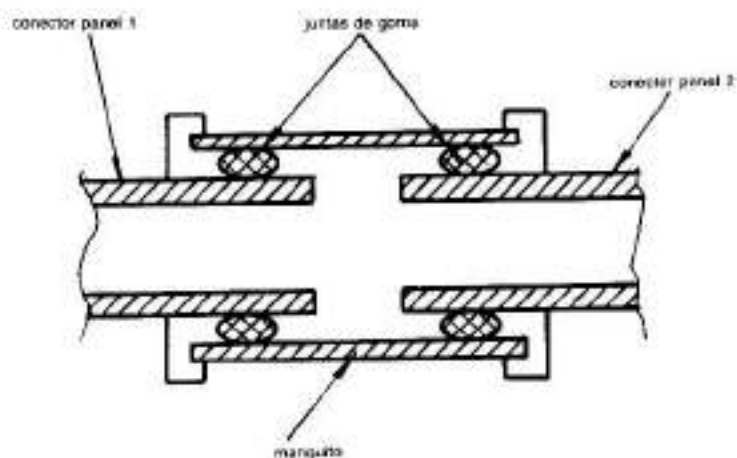


Fig. 13.— Conexión con manguitos semi-rígidos



ESQUEMAS DE CIRCULACION DEL LIQUIDO

Si los paneles están en serie, la circulación del líquido se produce de abajo a arriba; en el caso de baterías en paralelo, pueden darse dos casos, considerando los dos tubos colectores:

- Que el líquido circule en la misma dirección.
- Que circule en direcciones opuestas (Fig. 14).

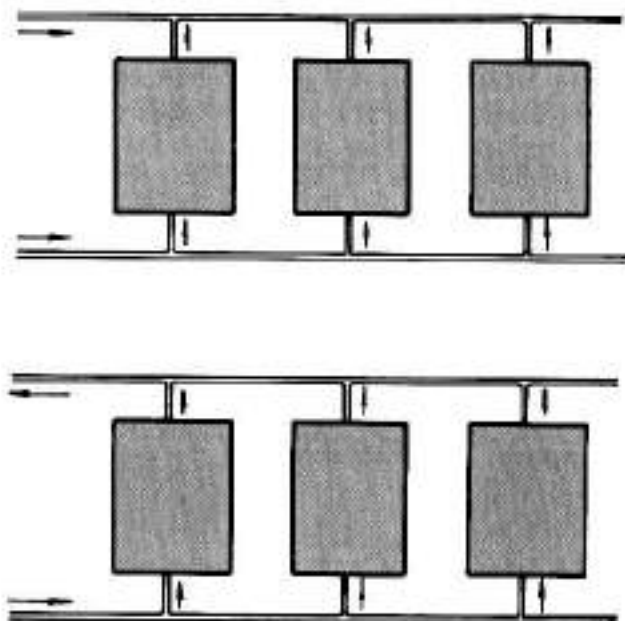


Fig. 14.— Circulación de líquido en la misma dirección y en direcciones opuestas.

La circulación en **dirección opuesta** hace que el caudal se reparta muy mal a lo largo de los distintos paneles: generalmente por el primer panel pasa mucho caudal, por el siguiente un poco menos, y así sucesivamente hasta llegar al último, que tiene un caudal muy pequeño. Esto, como se observa, afecta al rendimiento, por lo que este tipo de circulación en dirección opuesta es desaconsejable.

Si el líquido circula en la **misma dirección**, tanto en el tubo colector como en el inferior, la distribución de caudal es perfecta y la de temperaturas también, por lo que todos los colectores funcionan con el mismo rendimiento.

El inconveniente que tiene este modo de hacer circular el líquido es que suele precisar **más longitud** de tuberías, con lo que se aumenta el coste de la instalación, se precisa **más energía** de bombeo para vencer el aumento de la pérdida de carga, y se pierde algo de energía a través del aislamiento. No obstante, estos inconvenientes quedan totalmente compensados por la mayor eficacia de este sistema de circulación del líquido.

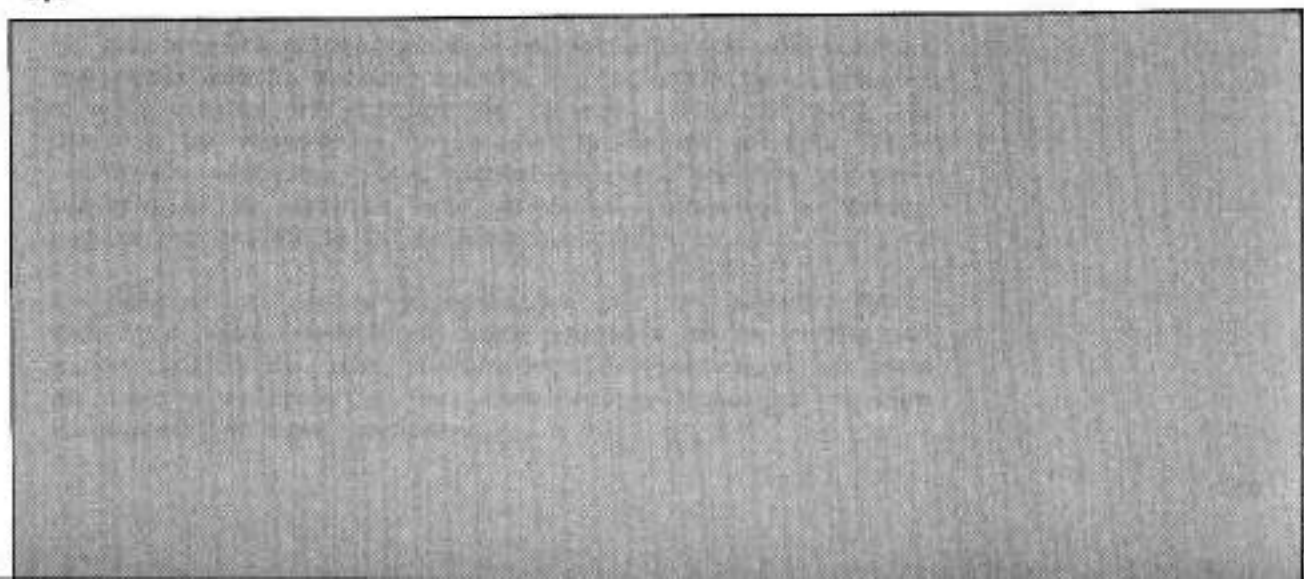
Las diversas baterías de paneles también pueden unirse si se colocan en paralelo, de forma que el líquido recorra los tubos colectores principales en la misma dirección o en direcciones opuestas (recordemos que las baterías se comportan como si fueran un único panel).

Debido al mayor diámetro de los tubos colectores principales, la disposición en direcciones opuestas no presenta los graves inconvenientes que tenía en el caso de colectores aislados, por lo que las baterías en paralelo se suelen unir entre sí de forma que el líquido recorra los tubos colectores principales en **direcciones opuestas**. Esto, además, evita tener que instalar mayores longitudes de tubos de gran diámetro, como son los colectores principales.





LECCION 15





15. CALCULO DE UNA INSTALACION SOLAR DE AGUA CALIENTE SANITARIA

INTRODUCCION

Visto ya con detalle todo el conjunto formado por una instalación solar de agua caliente sanitaria, en este tema se procederá al cálculo de los parámetros relevantes de la misma desde el punto de vista técnico, reservándose para la lección 17 los aspectos económicos de la instalación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cálculo completo de una instalación solar (en este caso, de agua caliente sanitaria) consta de numerosas partes, algunas de las cuales ya se han visto en los ejemplos desarrollados en las lecciones anteriores.

El planteamiento general del problema reside en conocer **qué superficie** de paneles solares es necesaria para atender a unas ciertas necesidades de consumo. Naturalmente, la decisión de realizar o no la instalación de energía solar (como de cualquier otra instalación), corresponde al **propietario** de la vivienda, que es quien mediante su dinero pagará los gastos de la instalación.

En general, el problema empezará por un estudio (poco detallado) que revelará el coste probable de la instalación y, en función de esto, el propietario decidirá si se pone en marcha el proyecto, por considerarlo atractivo, o bien lo cancela, en caso contrario.

Para el suministro de agua caliente sanitaria, en España se puede considerar que, en aplicaciones **domésticas** y para una familia de **cuatro personas**, se precisarían unos 3 m² de superficie útil de panel solar y unos 200 litros de acumulación. El precio de la instalación, contando los paneles solares, depósito, materiales, mano de obra, deducida la subvención, puede oscilar entre 2 veces (para el caso de instalaciones en forma de kit) y 3 veces el valor de los paneles solares. En caso de hoteles, campings, polideportivos, etc. estos valores pueden variar mucho.

Supongamos que el propietario está de acuerdo en realizar la instalación de energía solar. Tanto da que el estudio económico demuestre la conveniencia del proyecto, como que la quiera para poder enseñarla a sus amigos. El proyecto de la misma debe comprender unos datos de partida y unos datos que son desconocidos, y que hay que hallar, así como el tener que tomar **múltiples decisiones** respecto a la oferta de toda clase de piezas que componen la instalación solar, unas de mercado y otras que se pueden encargar, desde paneles solares hasta el último tornillo de la instalación.

Sin embargo, el cálculo más importante reside en hallar la **superficie útil necesaria** de paneles solares para que la instalación funcione correctamente. El cálculo de esta superficie útil implica conocer una serie de factores que veremos a continuación. Algunos son evidentes y otros se calculan sobre la marcha, especialmente el **consumo** de agua caliente que se prevé y el **tipo de panel solar** que se ha escogido, del que ha de conocerse su **recta de rendimiento**.

Con estos dos datos, **consumo y recta de rendimiento**, y con otros secundarios, se pueden obtener **diversas** superficies de captación (o el número de paneles solares necesarios) en función de la proporción de energía auxiliar que pensemos gastar y, por supuesto, del precio de la instalación solar.

El resultado del problema de hallar la superficie útil de captación es **indeterminado** (existen infinidad de posibles soluciones). En la práctica, es posible realizar una instalación que asegure **siempre** el suministro de agua caliente a la temperatura deseada **exclusivamente con energía solar** (sin ninguna energía auxiliar). Ahora bien, este tipo de instalación capaz, por ejemplo, de poder suministrar agua caliente después de siete días sin Sol, sería **carísima** y estaría **enormemente sobredimensionada**. Nadie hace

instalaciones solares de este tipo.

También existen instalaciones de energía solar sin aporte de energía auxiliar, pero en este caso esas instalaciones no garantizan un suministro energético regular.

En su lugar, se prevé que el sistema de energía solar aporte un cierto porcentaje (generalmente elevado) de la energía que se consume, y el resto lo aporta el sistema de calentamiento auxiliar. Si el porcentaje de energía solar aportada es alto, la instalación solar será cara y el gasto en el combustible auxiliar será barato. Si, por el contrario, el porcentaje de energía solar es bajo, la instalación solar será barata pero el gasto en el combustible auxiliar será caro, pues se consumirá mucho.

PRIMERA APROXIMACION AL CALCULO DE LA SUPERFICIE NECESARIA DE PANELES SOLARES

Antes de iniciar un estudio de energía solar, es muy conveniente hacer una estimación para examinar aproximadamente de qué orden de magnitud será la superficie a utilizar.

Como datos de partida tenemos el valor de la radiación media diaria mensual H (cantidad de energía que recibe una superficie durante un día del mes en cuestión).

Si se conoce el consumo, puede hacerse una estimación de la superficie necesaria mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{E \times f}{H \times j'}$$

S = Superficie útil en m^2 .
 E = Energía consumida por día.
 H = Irradiación media diaria mensual.
 f = Fracción de aportación solar sobre el total del consumo.
 j' = Rendimiento de la instalación (no del panel).

En esta expresión, tanto E como H , son valores conocidos (o estimados con un alto grado de certidumbre).



f representa la fracción de aportación de energía solar respecto al consumo total, y su valor suele variar entre 0.4 y 0.9. Los valores más bajos corresponden a los meses de mínima insolación y máximo consumo, mientras que los más altos corresponden a los meses de máxima insolación y mínimo consumo. En general, puede tomarse como valor de f el de 0.75.

η es el rendimiento energético de la instalación, que es menor que el rendimiento del panel solar. El valor de η puede tomarse con buena aproximación como igual al 50%, es decir, 0.5.

En el problema planteado al final de esta lección, los consumos mensuales son de $2.8 \text{ E}10 \text{ J}$, y los valores de la irradiación media diaria mensual eran de $11.24 \text{ E}6 \text{ J/m}^2$ para enero y de $17.81 \text{ E}6 \text{ J/m}^2$ para julio.

Podemos estimar la superficie como la media de la superficie necesaria en enero y julio.

Para el mes de enero:

$$S = \frac{\frac{2.80 \text{ E}10 \text{ J}}{31 \text{ días}} \times 0.75}{11.24 \text{ E}6 \text{ J/m}^2 \times 0.5} = 120.54 \text{ m}^2$$

y para el mes de julio:

$$S = \frac{\frac{2.80 \text{ E}10 \text{ J}}{31 \text{ días}} \times 0.75}{17.81 \text{ E}6 \text{ J/m}^2 \times 0.75} = 76.07 \text{ m}^2$$

La media de estos dos valores proporciona una estimación aproximada de la superficie necesaria.

$$S_m = \frac{120.54 \text{ m}^2 + 76.07 \text{ m}^2}{2} = 98.31 \text{ m}^2$$



METODO DE CALCULO «F-CHART»

Este método de cálculo es el más prestigioso que existe hoy día y ha sido desarrollado para trabajarlo en ordenador, aunque no hay inconveniente en realizar los cálculos a mano, con la ayuda de una calculadora.

El método "F - CHART" presenta una serie de ventajas respecto a otros métodos de cálculo existentes en el mundo y desarrollados por diversos investigadores. Como la mayoría de los métodos de cálculo, se basa en datos **mensuales** y relaciona la **superficie útil** necesaria de paneles solares con las llamadas "**curvas f**" que determinan el porcentaje de aportación solar al sistema. Así, la curva f de valor 0,9, determina una superficie útil tal que garantiza el 90% de suministro solar en el mes en cuestión.

Las principales ventajas del método "F - CHART" son:

- Es fácilmente tratable con **ordenadores** (lo que supone una enorme rapidez de cálculo).
- Se basa en datos **experimentales** (valor de la irradiación en el punto de ubicación de la instalación y sobre todo de las **características** del panel solar, obtenidos a partir de la recta de rendimiento).
- Proporciona datos **enormemente fiables**, avalados por una gran experiencia en todo el mundo. Los diversos coeficientes que aparecen en su cálculo son el resultado del propio cálculo matemático y de la experiencia, por lo que estos valores pueden a la luz de los resultados obtenidos sufrir leves modificaciones hasta conseguir el valor óptimo.
- Permite hacer los estudios económicos de rentabilidad de la instalación solar de forma fácil, en función de los distintos valores de la curva f, que dan distintos valores de superficies.
- Es un método de cálculo reconocido mundialmente.

La aplicación del método "F - CHART", presupone que se cumplen una serie de condiciones en la instalación solar (estas condiciones son muy generales y las cumplen la casi totalidad de instalaciones solares).



Las principales condiciones para poder aplicar correctamente el método "F - CHART" son las siguientes:

- Caudal másico por m² de colector multiplicado por el calor específico = 50 w/°C (ver ejemplo)
- Volumen del acumulador para agua, comprendido entre 37,5 y 350 l/m² de panel.
- Variación de energía en el acumulador nula en un período mensual.
- Orientación de los colectores: Sur $\pm 15^\circ$.
- Inclinación de los colectores = latitud $\pm$ declinación máxima ($23,45^\circ$).
- Consumo de agua caliente sanitaria, de acuerdo con la gráfica estándar (Fig. 1).
- Pérdidas de calor en las tuberías, nulas (generalmente son muy pequeñas).
- Pérdidas de calor en el acumulador, de 0,25 w/m² °C.

Si alguna de estas condiciones no se cumple, no por ello el método "F - CHART" deja de tener validez. En ese caso, los resultados son menos fiables.

El método "F - CHART" que se ofrece aquí presenta algunas **simplificaciones** respecto a su versión original. Ello es debido a que el cálculo de uno de los parámetros que intervienen ($\tau \alpha$) es un proceso largo que exige más

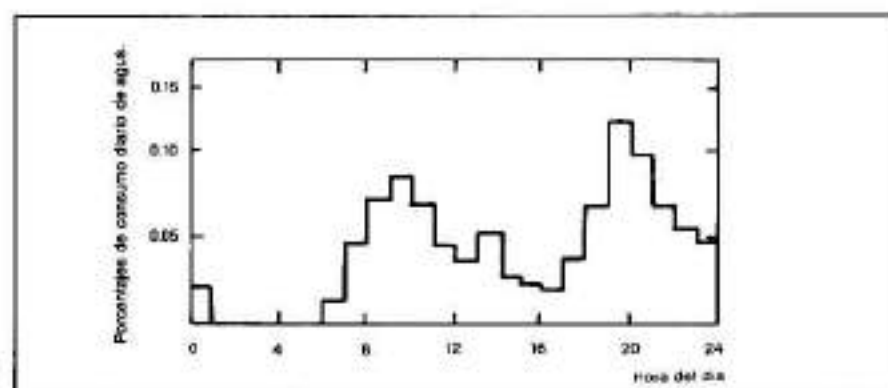


Fig. 1.— Distribución horaria del consumo de agua sanitaria.

de veinte pasos (aunque en realidad son todos sencillos) y cuyo resultado final varía muy poco de un proyecto a otro y se puede estimar fácilmente.

El método "F - CHART" se ofrece mediante unos **formularios** en blanco, que se van rellenando de datos. Todos los datos que se precisan son fácilmente obtenibles y tan solo se precisa una calculadora de bolsillo para su cómputo.



Finalmente, diremos que a pesar de que existen otros métodos de cálculo probablemente más rápidos, no son tan fiables como el "F - CHART", pues no suelen tener en cuenta las propiedades del panel solar usado y suponen un panel genérico, con lo que los resultados pueden variar significativamente de emplear una marca u otra de paneles solares.

EXPLICACION DEL METODO «F-CHART» (SIMPLIFICADO) PARA LIQUIDOS

Sea una instalación de energía solar. En ella tendremos unas aportaciones de energía solar útil (Q), un consumo (L) y una aportación de energía auxiliar (E). Efectuando un balance para un período de tiempo largo (por ejemplo un mes) queda:

$$Q = L - E + \Delta U$$

donde ΔU es el incremento o disminución de energía almacenada en el acumulador de calor. Ahora bien, excepto en el caso de la puesta en marcha de la instalación, cuando el acumulador está todo él frío y ha de calentarse para períodos de tiempo largos, la energía calorífica del acumulador será prácticamente constante, por lo que ΔU es un valor próximo a cero.

Por lo tanto, podemos escribir que para períodos mensuales:

$$Q = L - E$$

y llamado "f" a la fracción del consumo aportado exclusivamente por energía solar,

$$f = \frac{L - E}{L} = \frac{Q}{L}$$

El consumo L , es un valor **conocido** como dato de proyecto (generalmente estimado). En este caso, L representa la energía necesaria en agua caliente sanitaria que se precisa durante un mes, mientras que Q es la aportación solar útil. Así, una f de 0.8 durante un mes, representa que la energía solar nos cubrirá el 80% del consumo durante este mes, y que el 20% restante lo tendrá que aportar el sistema calefactor auxiliar.

Q es una función compleja, pero puede ser relacionada con **dos grupos adimensionales** llamados X e Y . (La demostración de esto, queda fuera del alcance de este Curso).

$$X = \frac{S F U B (T^{\circ}_{ref} - \overline{T^{\circ}_a}) t}{L}$$

$$Y = \frac{S F B (\overline{\tau \alpha}) \overline{H} N}{L}$$

donde:

S = Superficie útil de panel solar (m^2)

F = Factor de eficacia del colector.

U = Pérdidas del colector ($w/^{\circ}K$).

B = Factor de eficacia del intercambiador de calor del acumulador.

T°_{ref} = Temperatura de referencia o de trabajo ($^{\circ}C$).

$\overline{T^{\circ}_a}$ = Temperatura ambiente media mensual ($^{\circ}C$).

t = Número de segundos que hay en un mes (s).

$\overline{\tau \alpha}$ = Producto de la transmitancia - absorbancia **media** mensual (no es el ($\tau \alpha$) del ensayo de rendimiento).

$\overline{H}$ = Valor de la media mensual de irradiación total sobre una superficie inclinada (J/m^2 día).

N = Número de días que hay en un mes (día).

X expresa la relación entre las pérdidas de energía del colector y el consumo total mensual. Debe estar comprendido entre 0 y 18.

Y expresa la relación entre la energía absorbida por el colector y el consumo total mensual. Debe estar comprendido entre 0 y 3.

La fracción f del consumo total mensual aportado por la energía solar se obtiene en una gráfica en función de las variables adimensionadas X e Y , o bien puede calcularse matemáticamente (Fig. 2).

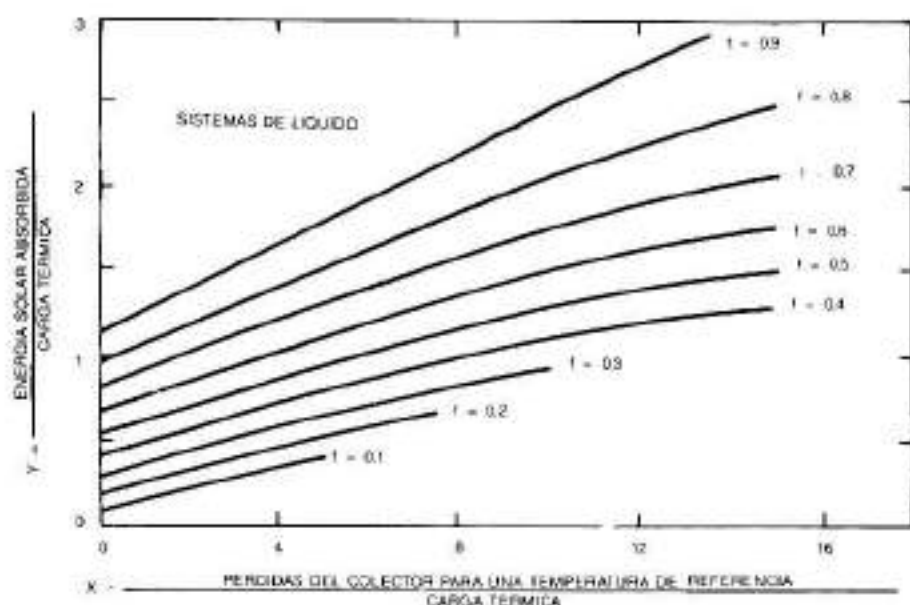


Fig. 2.— Curvas f para sistemas de líquido.

Las fórmulas de X e Y anteriores pueden modificarse ligeramente, por conveniencia de los cálculos que se realizarán a continuación, y dividiendo todo por la superficie útil de captación de energía solar queda:

$$\frac{X}{S} = \frac{F U B (T^{\circ} \text{ref} - T_a^{\circ}) \times 1}{L}$$

$$\frac{Y}{S} = \frac{F (\bar{\alpha}) B \left(\frac{(\bar{\tau\alpha})}{(\bar{\alpha})} \right) \times H \times N}{L}$$

Haciendo $S = 1 \text{ m}^2$, obtendremos los valores X/m^2 e Y/m^2 , con los cuales bastará dar a S valores arbitrarios para obtener valores de X e Y , y por consiguiente valores de f , y poder escoger el mejor. Recordemos, que f determina la fracción de aportación solar del consumo.

Todos estos valores, excepto $(\bar{\tau\alpha})$, son fácilmente obtenibles.

$(\bar{\tau\alpha})$ es el producto de la transmitancia - absorbancia media mensual y difiere del valor de $\tau\alpha$ obtenido en el ensayo de rendimiento. En efecto, $(\bar{\tau\alpha})$ del ensayo de rendimiento es el valor que resulta haciendo medir la

radiación **perpendicularmente** al panel que se ensaya. En cambio, $(\bar{\tau\alpha})$ es el valor medio mensual de todos los productos transmitancia - absorbancia para todas las direcciones de la radiación que inciden sobre el panel. Por lo tanto, $(\bar{\tau\alpha})$ será siempre **inferior** a $(\tau\alpha)$. (Fig. 3).

Dado que el cálculo de $(\bar{\tau\alpha})$ es muy largo, se toman unos valores medios para el cociente $(\bar{\tau\alpha})/(\tau\alpha)$.

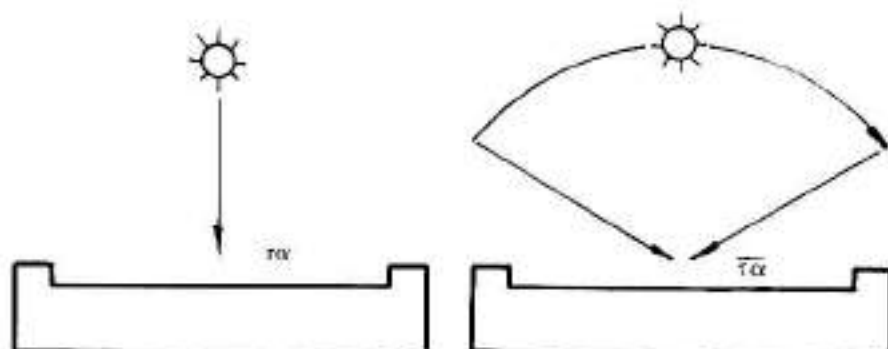


Fig. 3.— Diferencia entre $\tau\alpha$ y $\bar{\tau\alpha}$

Ahora vamos a examinar las distintas columnas del formulario:

- 1) Contiene los meses del año.
- 2) Contiene los días que tiene cada mes.
- 3) Contiene los segundos que tiene cada mes.
- 4) Está indicada en esta columna el consumo mensual en Julios. Este valor se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$L = N \times n^{\circ} \times G \times (T^{\circ}_s - T^{\circ}_r) \times C_e \times \rho$$

siendo:

- L = Consumo mensual (J).
 N = Número de días al mes (días).
 n° = Número de personas.
 G = Consumo por persona y día (undía).
 T°_s = Temperatura de suministro del agua caliente sanitaria ($^{\circ}\text{C}$).
 T°_r = Temperatura del agua de la red.
 C_e = Calor específico del agua J/kg $^{\circ}\text{C}$.
 ρ = Densidad del agua = 1 kg/litro.



- 5) Esta columna contiene el valor de la **media mensual de la radiación diaria sobre la superficie inclinada**, expresada en J/m^2 . Este dato se obtiene de la **tabla de radiación**. Se escoge de acuerdo con la localidad y el ángulo de inclinación. (Estos datos están publicados por el Ministerio de Industria y Energía para todas las capitales de provincia de España y nosotros las hemos incluido en el Dossier de Trabajo).
- 6) Valor medio mensual de la temperatura ambiente en la localidad. (Este dato está publicado en el mismo libro que el dato anterior).
- 7) Valor del producto de las pérdidas térmicas del colector por la eficacia del intercambio térmico de la placa colectora. Este dato se obtiene de la **recta de rendimiento** y su obtención está explicada en la lección 10.
- 8) Valor del parámetro $F(\tau\alpha)$. Se obtiene como el anterior de la **recta de rendimiento**.
- 9) Valor del factor de eficacia del **intercambiador de calor**. Si no hay intercambiador, $B = 1$. Si hay dos, el valor es el producto de ambos factores de eficacia. Este suele ser un dato suministrado por el fabricante. Si se desconoce, póngase $B = 0,9$.
- 10) Valor de la temperatura de suministro menos la media mensual de temperatura ambiente.
- 11) Valor del parámetro X/m^2 para una superficie colectora de $1 m^2$.
- 12) Temperatura del agua potable de la red. Este valor suele variar poco a lo largo del año, pero en caso de que la captación sea de aguas superficiales o de agua almacenada en un depósito previo, puede variar bastante a lo largo del año.
- 13) Corrección (sólo para instalaciones de agua caliente sanitaria) que tiene en cuenta que el consumo no es uniforme a lo largo del día, sino que se ajusta a una gráfica estándar. Si el consumo fuera uniforme a lo largo de las 24 horas deberíamos poner un 1. El factor de corrección vale:

$$\frac{11,6 + 1,18 T^{\circ} \text{ ref.} + 3,86 T^{\circ} \text{ red.} - 2,32 \bar{T}^{\circ}_a}{(100 - \bar{T}^{\circ}_a)}$$

- 14) Valor del parámetro X/m^2 corregido para el caso de agua caliente sanitaria por m^2 de superficie colectora.
- 15) Valor del cociente $\bar{\alpha} / \tau\alpha$. Se extrae de la tabla adjunta. Este valor puede obtenerse en función de otros parámetros que pueden variar a lo largo del año, tales como la inclinación, reflectividad del suelo,



etc. a través de un cálculo muy largo.

- 16) Corrección a aplicar en el caso de que el volumen del acumulador sea diferente de 75 l/m^2 de superficie útil de panel solar.
- 17) Valor del parámetro Y/m^2 referido a 1 m^2 de superficie colectora.

Una vez obtenidos los parámetros X/m^2 e Y/m^2 (referidos ambos a 1 m^2 de superficie útil colectora), se multiplican estos valores por diversas superficies escogidas al azar, pero de acuerdo con el tamaño de la instalación (por ejemplo, podrían ser 75 , 100 y 125 m^2), obteniéndose los parámetros adimensionales X e Y para cada una de estas superficies, con lo que pueden estimarse distintos valores de f , bien en el gráfico, o calculando el valor de f como:

$$f = 1.029 Y - 0.065 X - 0.245 Y^2 + 0.0018 X^2 + 0.0215 Y^3$$

Obtenidos los distintos valores de f , para diversas superficies y para cada mes, se multiplica cada valor de f por el consumo (columna 4 del formulario), lo que nos dará la energía aportada cada mes por el sol. Restando los valores del consumo (columna 4) de los aportados por el Sol (columna 22) tendremos, igualmente, para esta superficie y para cada mes, la energía aportada por el sistema de calentamiento auxiliar.

Finalmente, se opera dividiendo el **total anual** (suma de los 12 meses del valor de la **aportación solar** por el **total anual** (suma de los 12 meses) del valor **del consumo**, obteniéndose el parámetro $\overline{F}$, que es la **fracción anual de aportación de energía solar** a la instalación.

Esto puede organizarse añadiendo unas columnas suplementarias al formulario, como sigue:

- 18) Valor de la superficie útil de panel solar escogida al azar (pero dentro de ciertos límites).
- 19) Valor del parámetro adimensional X , obtenido multiplicando el valor de la columna 14 por la 18.
- 20) Idem respecto al parámetro adimensional Y .
- 21) Valor del parámetro f , obtenido analítica o gráficamente. Si f es mayor que 1, debe colocarse un 1 independientemente del valor de f .
- 22) Valor de la energía aportada por el Sol, expresada en Julios. Es f multiplicado por la columna 4.
- 23) Valor de la energía aportada por el sistema de calenta-

miento auxiliar, en Julio. Es igual al valor del consumo menos la aportada por el Sol. Sumando los 12 valores de la columna 22 y dividiendo el resultado por la suma de los 12 valores de la columna 4, obtenemos el valor del parámetro F anual.

$$F = \frac{\text{Energía aportada por el Sol en un año}}{\text{Energía consumida}}$$

La elección del valor de la superficie se realiza haciendo el **estudio económico** (que se explicará en la lección 17), ya que hay que tener en cuenta que si F es grande, la instalación tendrá muchos paneles y será muy cara. Por otra parte, si F es pequeña, el coste de la energía auxiliar puede ser muy alto. Generalmente, F está comprendido para instalaciones de agua caliente sanitaria entre 0,6 y 0,8.

EJEMPLO DE APLICACION

Se desea que un bloque de 20 viviendas situado en Barcelona disponga de agua caliente sanitaria. Los paneles solares elegidos tienen la recta de rendimiento del ejemplo de la lección 10. Se considera un consumo de 60 litros de agua caliente por persona, estimándose que existen cuatro personas por vivienda. Para prevenir el peligro de heladas se ha dispuesto en el circuito cerrado de paneles una solución del 25% de propilenglicol en agua. El acumulador consiste en un depósito lleno del agua potable de consumo, en atención que el agua en esta zona no es excesivamente corrosiva. La temperatura del agua caliente será de 58° C y la de la red, que se supone constante, de 13° C. La inclinación de los colectores será de 55° (Fig. 4).

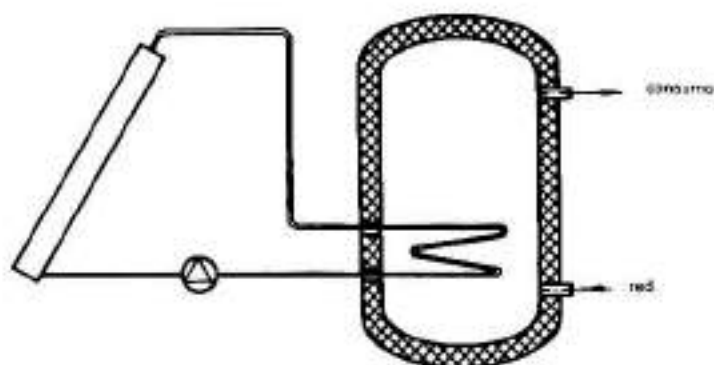


Fig. 4.— Esquema simplificado de la instalación del problema propuesto.

Antes de proceder a rellenar el formulario, es preciso realizar unos cálculos previos:

- a) Características de la mezcla anticongelante. Como se puede observar, se ha elegido el **propilenglicol**, ya que no es tóxico y tiene un mayor calor específico que el etilenglicol.

Se puede comprobar en el gráfico que el punto de congelación de la mezcla de 25% de propilenglicol en agua es de unos -10°C . Asimismo, comprobamos que el calor específico de esta mezcla a la temperatura de 60°C es de unos $3970\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$.

El caudal de circulación por cada metro cuadrado de panel deberá ajustarse a que se cumpla la ecuación (el caudal se controla ajustando la bomba de circulación):

$$\begin{aligned}\text{Caudal} \times C_p &= 50 \text{ w}^{\circ}\text{C} \\ \text{Caudal} \times 3970 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C} &= 50 \text{ w}^{\circ}\text{C} \Rightarrow \text{Caudal} = 0.0125 \text{ kg/s m}^2\end{aligned}$$

Habiendo este valor, debemos proceder a calcular los valores de FU y $F(\tau\alpha)$, obtenibles a partir de la recta de rendimiento (lección 10).

$$K = \frac{G C_p}{\left(G C_p - \frac{\text{tang } \beta}{2} \right)} = \frac{0.0125 \text{ kg/s m}^2 \times 3970 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C}}{0.0125 \text{ kg/s m}^2 \times 3970 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C} - (3.33)} = 0.94$$

$$\begin{aligned}\text{El valor de } FU &= -0.94 \times \text{tang } \beta \Rightarrow -0.94 \times -6.66 = 6.26 \text{ w}^{\circ}\text{C} \\ \text{El valor de } F(\tau\alpha) &\text{ es } K \text{ y } \Rightarrow 0.94 \times 0.8 = 0.75\end{aligned}$$

- b) Capacidad del acumulador.

La capacidad del acumulador se escogerá de acuerdo con la recomendación del método "F - CHART", y será de 75 litros de agua por cada m^2 de panel solar.

- c) Cumplimentación del formulario.

Empezamos a rellenar el formulario. Las columnas 1, 2 y 3 ya están llenas. La columna 4 contiene el consumo mensual. Lo calcularemos de acuerdo con la fórmula dada anteriormente para 80 personas. Por ejemplo, para enero:

$$L = 31 \text{ días} \times 80 \text{ personas} \times 60 \text{ l/p} \times (58 - 13 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times 1 \text{ kg/l} \times 4180 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C} = 2.8 \text{ E } 10 \text{ J}$$

Rellenamos a continuación la columna 5. Para ello, buscamos en la tabla de radiación correspondiente a Barcelona los valores de radiación interceptada por una superficie inclinada a 55° . Para enero, este valor es de 11,24 MJ.

Seguidamente, rellenos la columna 6 con los valores de la temperatura media ambiente mensual. Para enero la haremos igual a $9,4^{\circ}\text{C}$.

A continuación ponemos el valor de FU, que es de $6,26 \text{ w/}^{\circ}\text{C}$ (es igual para todos los meses del año) en la columna 7.

Luego colocamos el valor de $F(\tau\alpha)$ que es de 0.75 (también igual para todos los meses del año) en la columna 8.

Del intercambiador de calor no disponemos de información, así que supondremos una eficacia del 90% y pondremos 0.9 para este factor, que es el mismo para todos los meses del año, en la columna 9.

A continuación, en la columna 10, hallaremos la diferencia entre la temperatura de referencia, 58°C , y la ambiente mensual: es decir, restaremos de 58 el valor de la columna 6. Para enero será $48,6^{\circ}\text{C}$.

El valor de X/m^2 , se obtiene multiplicando entre sí los valores de las columnas 3, 7, 9 y 10 y dividiendo el resultado por la columna 4. Este valor es para enero 0,0262 (columna 11).

El valor obtenido en la columna 11 correspondería a un consumo de agua caliente sanitaria **uniforme** durante las 24 horas del día. Como no existe esa uniformidad, debemos corregir este valor ligeramente. Para ello colocamos los 13°C de temperatura del agua de la red en la columna 12.

En la columna 13 ponemos el resultado del siguiente cálculo:

$$\frac{11,6 + 1,18 T^{\circ} \text{ ref} + 3,86 T^{\circ} \text{ red} - 2,32 T_a}{(100 - T_a)}$$



con la temperatura de red de 13°, este valor es para enero igual a 1.1966.

Seguidamente, multiplicamos el valor de la columna 11 por el de la columna 13, obteniendo el valor definitivo de X/m^2 , que se coloca en la columna 14.

En la columna 15 se coloca el resultado del cociente de $(\tau\alpha)/(\tau\alpha_0)$ de acuerdo con el número de cubiertas que posee el colector. Como en el ejemplo posee 1, corresponde un valor de 0.96 para enero.

Si el valor elegido para el volumen de almacenamiento de agua fuera distinto de 75 l/m² de superficie útil, rellenaríamos la columna 16 con valores distintos de 1. Al ser de 75 l/m², colocamos un 1 en todos los meses.

Finalmente, hallamos el valor de Y/m^2 , multiplicando entre sí los valores de las columnas 2, 5, 8, 9, 15 y 16. El resultado de esta multiplicación lo dividimos por los valores de la columna 4.

Con esto hemos obtenido los valores de X/m^2 y de Y/m^2 .

Ahora escogemos unas superficies al alzar, por ejemplo 75, 100, y 125 m y pasamos a multiplicar los valores de X/m^2 y de Y/m^2 por este valor. Aquí lo hacemos solamente para el valor de 100 m², aunque al final de este ejercicio se darán los resultados obtenidos para 75 y 125 m².

- Colocamos el valor de 100 en la columna 18.
- Multiplicamos los valores de la columna 14 por el valor de la columna 18; obtendremos así el parámetro adimensional X en la columna 19.
- Multiplicamos los valores de la columna 17 por el valor de la columna 18, obteniendo el parámetro adimensional Y en la columna 20.
- En la columna 21 hacemos el cálculo siguiente para calcular el valor de F : (se puede obtener también gráficamente).

$$f = 1.029 - y - 0.065x - 0.245y^2 + 0.0018x^2 + 0.0215y^2$$

El valor de f correspondiente a enero es de 0.4955. Esto quiere decir que la aportación solar cubre el 49.55% del consumo de agua caliente en el mes, con una superficie de 100 m².

- En la columna 22, multiplicamos los valores de f (columna 21) por el consumo (columna 4), obteniendo la energía en J. suministrable por el Sol.
- Finalmente, rellenos la columna 23, restando del valor del consumo la aportación solar, con lo que obtenemos la energía que tiene que aportar el sistema calefactor auxiliar.
- Sumando los 12 valores de la columna 22, resultará el valor de la aportación solar anual, que dividido por la suma de los 12 valores del consumo, nos da el valor del parámetro F , que es la fracción anual de aportación de energía solar al sistema. El valor de F es de 0.714, es decir, la energía solar proporcionará el 71.4% del consumo energético y el sistema calefactor auxiliar deberá cubrir el 28.6% del consumo. De haber empleado 75 m^2 , la aportación solar sería del 58.1%, mientras que si se hubieran instalado 125 m^2 , esta aportación solar sería del 82.3%.
- Si damos por bueno este valor de 100 m^2 (este aspecto se tratará en la lección 17), el volumen del acumulador deberá ser;

$$V = 75 \text{ l/m}^2 \times 100 \text{ m}^2 = 7500 \text{ litros}$$

NOTA.- Si el propietario desea que la aportación solar cubra, por ejemplo, el 80% del consumo, al margen de los criterios económicos, el problema simplemente reside en hallar la superficie que hace que $F = 0.8$.





DATOS DE INTERES

VALORES DEL COCIENTE $(\overline{T_\alpha})/T_\alpha$
EN LAS ZONAS TEMPLADAS DE LA TIERRA
(PARA 0,1 Y 2 CUBIERTAS DE VIDRIO
O DE PLASTICO)

	0	1	2
ENERO	0,99	0,96	0,94
FEBRERO	0,99	0,96	0,94
MARZO	0,98	0,95	0,93
ABRIL	0,96	0,93	0,91
MAYO	0,95	0,92	0,90
JUNIO	0,94	0,91	0,89
JULIO	0,95	0,92	0,90
AGOSTO	0,95	0,92	0,90
SEPTIEMBRE	0,97	0,94	0,92
OCTUBRE	0,98	0,95	0,93
NOVIEMBRE	0,99	0,96	0,94
DICIEMBRE	0,99	0,96	0,94

PROGRAMA PARA EL CALCULO
DE LA FRACCION SOLAR MENSUAL
SEGUN EL METODO "F-CHART" PARA
SISTEMA DE LIQUIDO

```
10 REM PROGRAMA F - CHART SIMPLIFICADO PARA LIQUIDOS. (C) J. Ribot
20 DIM F(12,23)      'F es una matriz numerica identica al formulario
21 DIM MESES$(12)
22 restore 15000
23 for n = 1 to 12
24   read MESES$(n)
25 next n
26 for n = 1 to 12
27   F(n, 1) = n
28 next n
29 restore 6000
```



```

60 for n = 1 to 12
70   read y
80   F(n, 2) = y
90 next n
100 restore 7000
110 for n = 1 to 12
120   read z
130   F(n, 3) = z
140 next n
150 for n = 1 to 12
160   gosub 5000
170   input "CONSUMO MENSUAL ? (l): ", l
180   F(n, 4) = l
190 next n
200 for n = 1 to 12
210   gosub 5000
220   input "IRRADIACION MEDIA DIARIA MENSUAL (MJ./m2.): ", h
230   h = h * 1e6
240   F(n, 5) = h
250 next n
260 cls
270 for n = 1 to 12
280   gosub 5000
290   input "TEMPERATURA MEDIA AMBIENTE ? : ", ta
300   F(n, 6) = ta
310 next n
320 cls
330 input "VALOR DE LAS PERDIDAS DEL COLECTOR 'FU' ? (W/mC.): ", v
340 for n = 1 to 12
350   F(n, 7) = v
360 next n
370 input "VALOR DEL PARAMETRO FITau - Afta ? : ", a
380 if a > 1 then cls: goto 300
390 for n = 1 to 12
400   F(n, 8) = a
410 next n
420 input "FACTOR DE EFICACIA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR ? : ", b
430 if b > 1 then cls: goto 420
440 for n = 1 to 12
450   F(n, 9) = b
460 next n
470 input "TEMPERATURA DEL AGUA CALIENTE ? (oC.): ", ts
480 for n = 1 to 12
490   F(n, 10) = ts - F(n, 6)
500 next n
510 input "CALEFACCION = 0   AGUA CALIENTE SANITARIA = 1 ", q
520 if q < 0 then goto 507
530 for n = 1 to 12

```

```

504 f(n, 13) = 1
505 next n
506 goto 559
507 for n = 1 to 12
508 gosub 5000
509 input "TEMPERATURA DEL AGUA DE LA RED: ", tr
540 if F(n,4) < 0 then F(n,1) = (F(n,3)*F(n,7)*F(n,9)*F(n,10))/F(n,4)
550 next n
555 cls
556 for n = 1 to 12
557 v1 = (11.6 + 1.18 * ts + 3.86 * f(n,12) - 2.32 * f(n,6))
558 v2 = (100 - f(n,6))
559 f(n, 13) = v1 / v2
560 next n
561 for n = 1 to 12
562 f(n, 14) = f(n, 11) * f(n, 13)
563 next n
660 input "NUMERO DE CUBIERTAS DEL COLECTOR ? ", c
670 if c < 0 or c > 2 then cls: goto 660
680 if c = 0 then goto 710
690 if c = 1 then goto 740
700 if c = 2 then goto 770
710 F(1, 15) = 0.99: F(2, 15) = 0.99: F(3, 15) = 0.98: F(4, 15) = 0.96
714 F(5, 15) = 0.95: F(6, 15) = 0.94: F(7, 15) = 0.95: F(8, 15) = 0.95
722 F(9, 15) = 0.97: F(10,15) = 0.98: F(11,15) = 0.99: F(12,15) = 0.99
730 goto 790
740 F(1, 15) = 0.96: F(2, 15) = 0.96: F(3, 15) = 0.95: F(4, 15) = 0.93
744 F(5, 15) = 0.92: F(6, 15) = 0.91: F(7, 15) = 0.92: F(8, 15) = 0.92
752 F(9, 15) = 0.94: F(10,15) = 0.95: F(11,15) = 0.96: F(12,15) = 0.96
760 goto 790
770 F(1, 15) = 0.94: F(2, 15) = 0.94: F(3, 15) = 0.93: F(4, 15) = 0.91
774 F(5, 15) = 0.90: F(6, 15) = 0.89: F(7, 15) = 0.90: F(8, 15) = 0.90
782 F(9, 15) = 0.92: F(10,15) = 0.93: F(11,15) = 0.94: F(12,15) = 0.94
790 print "NUMERO DE LITROS DE AGUA DEL ACUMULADOR POR CADA METRO CUADRADO"
791 input "DE SUPERFICIE UTIL: ", v
800 if v < 37.5 or v > 350 then goto 790
810 for n = 1 to 12
815 f(n, 16) = (v / 75)^(-0.25)
820 next n
840 for n = 1 to 12
850 if f(n, 4) = 0 then goto 860
855 F(n, 17) = (F(n,2)*F(n,5)*F(n,8)*F(n,9)*F(n,15)) / F(n,4)
860 next n
870 input "DE UN VALOR ALEATORIO A LA SUPERFICIE DE PANELES SOLARES (m2.): ", s
880 ok = s
890 j = 0
895 for n = 1 to 12
896 F(n, 18) = s
897 next n

```



```

910 for n = 1 to 12
920   F(n, 19) = F(n, 14) + F(n, 18)
930   if f(n, 19) <= 18 then goto 950
940   gosub 5000
941   print "PARAMETRO ADIMENSIONAL X NO VALIDO EN EL MES INDICADO"
942   stop
950 next n
960 for n = 1 to 12
970   F(n, 20) = F(n, 17) + F(n, 18)
980   if f(n, 20) <= 3 then goto 993
990   gosub 5000
991   print "PARAMETRO ADIMENSIONAL Y NO VALIDO EN EL MES INDICADO"
992   stop
993 next n
994 for n = 1 to 12
995   v1 = (F(n, 20))^2 + 0.0018 + (F(n, 19))^2 - 0.0215 + (F(n, 20))^3
996   F(n, 21) = 1.029 + F(n, 20) - 0.065 + F(n, 19) - 0.245 + v1
1000 next n
1001 for n = 1 to 12
1002   F(n, 22) = F(n, 4) + F(n, 21)
1003 next n
1030 for n = 1 to 12
1040   F(n, 23) = F(n, 4) - F(n, 22)
1050 next n
1060 lt = 0
1070 cas = 0
1080 aa = 0
1090 for n = 1 to 12
1100   lt = lt + F(n, 4)
1110 next n
1120 for n = 1 to 12
1130   aps = aps + F(n, 22)
1140 next n
1150 f = aps / lt
1160 for n = 1 to 12
1170   aa = aa + F(n, 23)
1180 next n
1190 aps = aps / 1e6
1200 aa = aa / 1e6
1210 print "SUPERFICIE: "; B; " a2."
1220 print "FRACCION SOLAR ANUAL: "; f
1230 print
1240 print "FRACCION SOLAR MENSUAL f: "
1250 print
1260 for n = 1 to 12
1270   print MESES$(n); " ";
1280   print F(n, 21)
1290 next

```



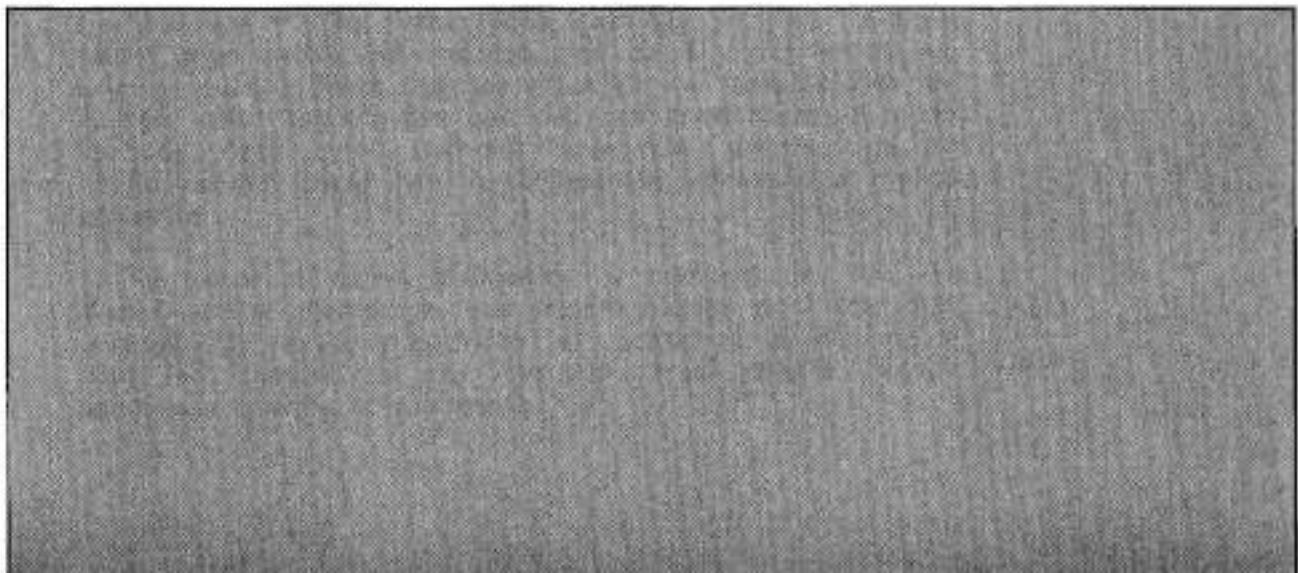
```
1300 print
1310 print "APORTACION SOLAR ANUAL: "; apsj " Mj."
1320 print "APORTACION AUXILIAR ANUAL: "; aa; " Mj."
1340 stop
1350 cls
1360 goto 870
5000
5001 ' Subrutina mensual
5002 '
5010 m$ = MESES$(n)
5020 cls
5030 print m$
5040 return
6000 DATA 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31
7000 DATA 2.68eb, 2.42eb, 2.68eb, 2.59eb, 2.68eb, 2.59eb
8000 DATA 2.68eb, 2.68eb, 2.59eb, 2.68eb, 2.59eb, 2.68eb
15000 DATA "ENERO", "FEBRERO", "MARZO",
15005 DATA "ABRIL", "MAYO", "JUNIO",
15010 DATA "JULIO", "AGOSTO", "SEPTIEMBRE",
15020 DATA "OCTUBRE", "NOVIEMBRE", "DICIEMBRE"
```

Pueden obtenerse fácilmente los valores de cada casilla del formulario F Chart añadiendo al programa estas 6 líneas y ejecutándolo a partir de la línea 9000.

```
9000 FOR J=1 TO 23
9010 PRINT : PRINT "COLUMNA: "; J : PRINT
9020 FOR K=1 TO 12
9030 PRINT X;TAB 4;F(K,J)
9040 NEXT K
9050 NEXT J
```

**FORMULARIOS
RELLENADOS
PARA EL CASO DEL
EJEMPLO PROPUESTO: —▶**

LECCION 16



16. UTILIZACION RACIONAL DE UNA INSTALACION DE ENERGIA SOLAR. MANTENIMIENTO

INTRODUCCION

Si se posee una instalación de energía solar, se pueden obtener ahorros económicos importantes mediante una utilización racional de la misma, lo que tal vez exija algún cambio en los hábitos o costumbres de los usuarios. Por otra parte, no hay que olvidar el mantenimiento de la instalación, hecho al que frecuentemente no se le da toda la importancia que tiene.

UTILIZACION RACIONAL DE INSTALACIONES DE ENERGIA SOLAR

La posesión o disfrute de una instalación solar exige de sus usuarios ciertas atenciones que tal vez no revisten tanta importancia en instalaciones de tipo convencional. Ello no quiere decir que los usuarios de instalaciones de energía solar tengan que cambiar sus costumbres o modo de vida, pero como veremos enseguida, cierto tipo de hábito pueden hacer que la instalación sea más o menos eficiente.

Si los usuarios están dispuestos a comportarse de una manera determinada, la instalación podría ser algo más pequeña de lo previsto, con el considerable ahorro; o bien, en condiciones de insolación desfavorable, seguir aportando energía normalmente.

El problema, en general, tiene dos vertientes diferenciadas cuando hablemos de instalaciones de energía solar en edificios:

- a) Que el edificio esté ya construido.
- b) Que el edificio no esté construido.

Si el edificio está ya construido, la instalación de energía solar deberá acomodarse, en grandes rasgos, a lo ya existente, lo cual supondrá que el campo de colectores se instalará donde haya espacio, independientemente de que este sea el idóneo o no. Lo mismo pasará con el acumulador, por citar sólo los dos elementos que requieren mayor espacio en la instalación.

Sin embargo, donde puede haber más problemas es en aspectos tales como el aislamiento de la vivienda la colocación de dos cristales en las ventanas, la ubicación de los convectores de calefacción en lugares apropiados, etc.

El problema del **aislamiento** se tratará en la lección 20, al iniciar el tema de la calefacción. Si la casa está ya construida, seguramente dispondrá en las paredes maestras exteriores de una **cámara de aire**. La cámara de aire consiste en un espacio hueco que se deja entre los ladrillos de la pared exterior (generalmente dos capas de ladrillos de seis agujeros o una capa de ladrillo macizo visto) y la pared interna (que suele consistir en un tabique de ladrillo de tres agujeros, revestido interiormente de yeso).

La cámara de aire **protege eficazmente de la humedad**, pero no es tan buen aislante térmico como se cree. Esto puede subsanarse relleno la cámara de aire con algún material **hidrófugo**. La operación suele realizarse haciendo dos pequeños orificios en el tabique, uno a nivel del suelo y otro a nivel del techo, e **inyectando** espuma de poliuretano en la cámara de aire. La espuma de poliuretano se prepara **in situ** a base de dos componentes que se mezclan en el eyector y seguidamente se inyectan, solidificando a los pocos segundos.

El aislante térmico debe comprender también, además de las paredes externas, el suelo y el techo, en el caso de que sean también exteriores. El techo se puede recubrir de espuma o de placas de materiales aislantes pero el suelo no presenta tantas facilidades. Si el suelo se apoya (a través de una capa de hormigón) sobre el propio terreno, las pérdidas de calor a través de él por conducción son considerables (Fig. 1).

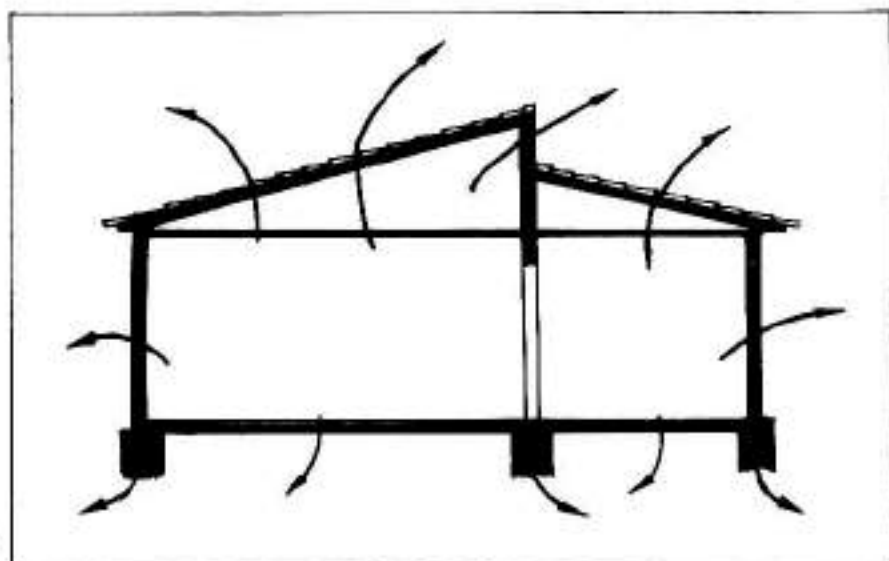


Fig. 1.— Fugas de calor en un edificio.

Las ventanas pueden protegerse adecuadamente dotándolas de dos cristales, con lo que las pérdidas de calor a través de las mismas se reducen considerablemente. Entre estos dos cristales debe **extraerse** lo más perfectamente posible la **humedad**, al objeto de evitar que en invierno se formen condensaciones internas, hecho que se puede lograr con ventanas de dos vidrios herméticos con interior de nitrógeno seco, o depositando en su interior una bolsa permeable de **gel de sílice**, el cual absorberá la humedad, cambiando de color. El gel de sílice se puede regenerar, simplemente calentándolo suavemente.

Los edificios ya construidos suelen tener convectores de calefacción instalados muchas veces en **lugares inapropiados** (tales como debajo de las ventanas), lo que favorece la rápida salida del calor al exterior. Otro inconveniente de estos convectores de tipo estándar es su superficie (o su número de elementos) ya que generalmente están pensados para funcionar a temperaturas más altas de las que podría suministrar el sistema solar.

Si el edificio ha de construirse, podrá ponerse en práctica una serie de medidas que se estudiarán en la lección 19 y que van desde el diseño general del edificio a los aislamientos de muros y techos, la separación entre el terreno y el piso inferior del edificio, la forma y situación de las ventanas, etc., y que, junto con otros, contribuirán a un mejor aprovechamiento de la energía solar y, por consiguiente, a una disminución de los costes de la energía auxiliar.

USO RACIONAL DE INSTALACIONES DE AGUA CALIENTE SANITARIA POR ENERGIA SOLAR

Las instalaciones de agua caliente sanitaria no precisan tantos requerimientos como una de calefacción. En principio, cualquier instalación de agua caliente sanitaria de una vivienda serviría para energía solar. Sólo se ha de disponer del espacio suficiente para colocar los paneles solares y el acumulador. La salida del agua caliente del acumulador se conecta directamente a la red de tuberías de distribución del agua caliente y tan solo puede requerir algún trabajo especial la conexión del sistema de calentamiento auxiliar, si éste es un calentador no eléctrico (de gas o de gasóleo).

Uno de los principales medios de actuar para conseguir una buena eficacia es **controlar las temperaturas de servicio**. Así, es poco aconsejable tener el agua caliente a, por ejemplo, 80° C para luego tenerla siempre que mezclar con abundante agua fría con el fin de conseguir una temperatura moderada. El disponer de agua muy caliente supone un **mal rendimiento** energético de los paneles solares, unas **pérdidas mayores** de calor en el acumulador, una **aceleración** de los **procesos corrosivos**, y un aumento de posibles averías (generalmente por agarrotamiento en llaves de paso, purgadores, bomba de circulación, etc.).

Por otra parte, la **legislación** vigente en España, de obligado cumplimiento, señala que el agua caliente sanitaria se preparará a una temperatura máxima de 58° C, distribuyéndose a un máximo de 50° C, valor que se reducirá a 42° C en caso de que este agua caliente sea de uso exclusivo para duchas, lavabos y lavapiés. Estas temperaturas se refieren al caso de usar un combustible convencional pero evidentemente, dado que la instalación solar lleva incorporado un sistema de calentamiento auxiliar, las temperaturas del agua caliente sanitaria deben ser las mismas.

Por lo tanto, ya tenemos un factor que mejorará el funcio-



namiento de nuestra instalación: que la temperatura del agua caliente sanitaria no sea excesiva (valores aceptables van desde 45 a 58° C).

Ahora bien, si la temperatura es excesivamente baja, ello puede dar lugar a un funcionamiento exagerado del equipo de calentamiento auxiliar, y esto puede ser especialmente importante si, por ejemplo, después de un día de sol viene uno nublado. Teóricamente, la instalación se diseña para que puede soportar el consumo de 24 horas suplementarias sin aportación solar, pero si la temperatura ya es de por sí muy baja, se deberá conectar el sistema auxiliar, puesto que las pérdidas de calor del acumulador y del propio consumo harán que la temperatura del agua caliente descienda siempre.

El termostato del sistema auxiliar nos puede suponer otra forma de mejorar la instalación, haciendo que se active a una temperatura lo más baja posible, siempre compatible con el grado de confort deseado. En este caso, una temperatura de unos 45° C parece ser la óptima.

Otra mejora importante puede ser la racionalización en los hábitos de los usuarios.

Hemos visto en el cálculo de la instalación de la lección anterior que el formulario "F - CHART" presenta en las columnas 12 y 13 unos valores que sólo se emplean para el agua caliente sanitaria. Este valor de corrección (columna 13) se precisa porque el consumo de agua caliente sanitaria no es constante a lo largo de las 24 horas del día, sino que se ajusta a una gráfica estándar.

Si el consumo de agua caliente estuviera limitado a determinados momentos del día, se recomienda aumentar el volumen del acumulador, pasando de 75 l/m² de panel solar a valores superiores.

Por el contrario, si el consumo se efectuara de forma preferente durante la mañana, o de forma más uniforme durante las 24 horas del día, el sistema sería más eficiente y podría reducirse ligeramente la capacidad del acumulador a valores algo inferiores a 75 l/m².

En general, es preferible consumir el agua caliente durante la mañana que durante la tarde-noche. La razón de ello reside en que, suponiendo que el día es soleado, al consumir agua por la mañana, el agua de circulación por los paneles está más fría y éstos trabajan con mejor rendi-



miento. Además, permite disponer de todo el tiempo de la tarde para que el acumulador recupere mediante la aportación solar la energía perdida durante la mañana.

Por el contrario, los consumos preferentemente por la tarde-noche hacen que durante buena parte del día los paneles no trabajen en su mejor rendimiento, especialmente por la tarde, al tiempo que durante la noche el agua caliente que hay en el acumulador se enfría debido a las horas sin aportación solar.

Estas recomendaciones pueden aconsejar la conveniencia de realizar el aseo personal por la mañana o al mediodía, en vez de por la noche, de no dejar el lavado de la vajilla para la noche, sino hacerlo al mediodía, de utilizar el agua caliente en la lavadora por la mañana, etc.

Estos consejos tienen como finalidad, sobre todo, un uso más racional de la instalación de energía solar, con el consiguiente ahorro de dinero en la propia instalación (que podrá, así, ser algo más pequeña), y en el coste de la energía de calentamiento auxiliar. Diremos, por último, que estos ahorros en agua caliente sanitaria pueden ser pequeños (del orden del 10%) pero significativos en cuanto a su conversión en dinero.

USO RACIONAL DE INSTALACIONES DE CALEFACCION POR ENERGIA SOLAR

Así como en el caso del agua caliente sanitaria los posibles ahorros conseguidos a través de una utilización racional de la instalación eran pequeños, aquí en el caso de calefacción pueden ser **bastante más importantes**. Sin embargo, el caso de la calefacción por energía solar está fuertemente influenciado por el hecho de que el edificio haya sido construido especialmente teniendo en cuenta que se usará calefacción solar.

Entre los diferentes sistemas de calefacción, los utilizables en energía solar son, por orden creciente de temperatura de servicio:

- Suelo radiante (40° C).
- Aire caliente (60° C).
- Convectores (80° C).

La instalación de **suelo radiante** exige disponer de una red de tubos enterrados bajo el pavimento. Se comprende que tal sistema generalmente solo es viable en edificios de nueva construcción, pues si hay que adicionar a los costos de la instalación solar el arrancar y colocar un nuevo pavimento, se hace preferible utilizar otros sistemas. (Fig. 2).

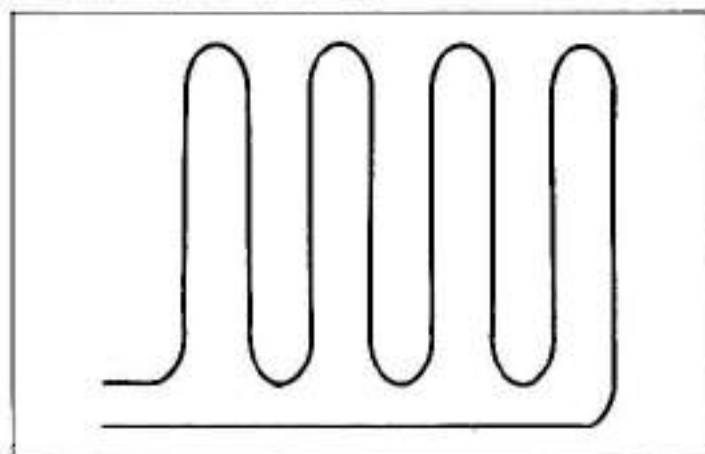


Fig. 2.— Suelo radiante: esquema de la colocación de los tubos

El aire caliente puede conseguirse a partir de un acumulador de rocas o mediante un intercambiador de calor líquido-aire, similar al radiador de un automóvil. El agua caliente de calefacción se hace pasar en este caso a través de unos tubos con aletas, impulsando el aire un ventilador, con lo que aquél se calienta. El aire caliente se distribuye a través de unos conductos que pueden situarse por encima del techo (Fig. 3).

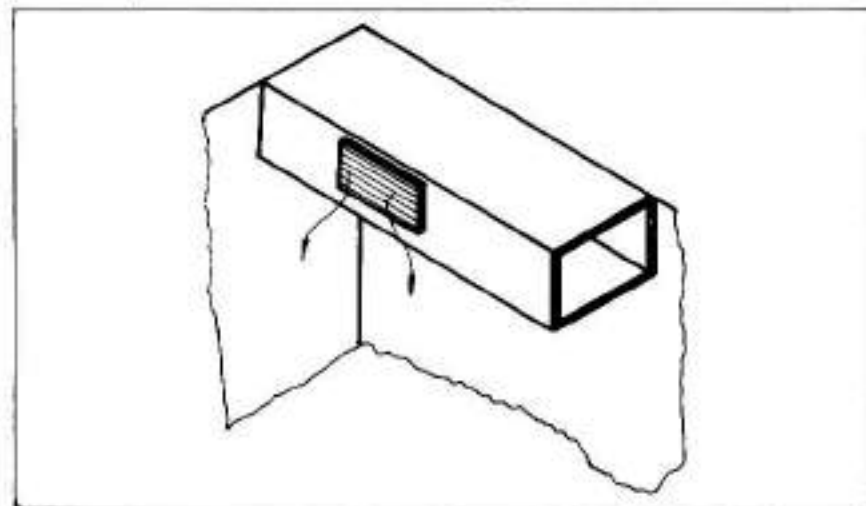


Fig. 3.— Aire caliente



Fig. 4.— Convector de calefacción.

Los **convectores** (mal llamados radiadores) requieren temperaturas más altas (o bien superficies mayores en el caso de funcionar a menores temperaturas). Suelen ser el sistema más barato, especialmente en cuanto se refiere a gastos de instalación (Fig. 4).

El uso racional de una instalación de calefacción solar exige **reducir al mínimo** las pérdidas de calor, aislando al máximo el edificio, reducir las infiltraciones de aire procedentes del exterior, colocando los correspondientes burletes en puertas y ventanas, cerrando la salida de la chimenea si ésta no se usa, colocando termostatos de ambiente conectados con las válvulas de entrada del fluido caliente en las distintas habitaciones, etc.

En viviendas especialmente diseñadas para tener calefacción por energía solar, esto a veces exige un cierto trabajo diario consistente en abrir o cerrar conductos de ventilación o ajustar termostatos. Sin embargo, estas sencillas y rápidas operaciones son en algunos casos claves para obtener un adecuado rendimiento de los sistemas de calefacción solar.

MANTENIMIENTO DE LA INSTALACION

Contrariamente a lo que la mayoría de folletos de propaganda dicen, las instalaciones de energía solar precisan un cierto **mantenimiento**.

En instalaciones pequeñas por circulación natural, este mantenimiento puede limitarse a **limpiar periódicamente** la cubierta transparente eliminando el polvo que hubiera caído (con una manguera o un paño), y, tal vez, a pintar cada 2 ó 3 años los soportes u otros objetos de hierro para que no se oxiden.

En instalaciones medianas y grandes, aparte de la limpieza del polvo y el pintado de los soportes, se hace necesario verificar periódicamente todos los elementos de la instalación, comprobando su funcionamiento y reparando o reponiendo aquellos elementos defectuosos.

Para ello es muy conveniente confeccionar un **formulario** en blanco que contenga todos los elementos de la instalación. Dado que una instalación es muy diferente de otra,

estos formularios deberá proporcionarlos el propio instalador, o bien realizarlos el usuario. Los formularios deben llevar la fecha de inspección, y consisten en una relación de las diferentes piezas que componen la instalación y sus posibles averías, así como el intervalo de tiempo que se requiere para volver a realizar otra inspección.

Un tipo genérico de formulario podría contener los siguientes datos:

SOPORTES: Verificar el estado general.

PANELES SOLARES: Verificar el estado general, presencia de cubiertas rotas, presencia de vaho en su interior, salida de líquido interior, salida de líquido (goteo) en las conexiones.

ACUMULADOR: Verificar el estado general, salida de líquido (goteo) por las conexiones, derrame de líquido por perforación de la pared, aislante mojado.

BOMBA DE CIRCULACION: Verificar el estado general, salida de líquido (goteo) por el prensaestopa, funcionamiento ruidoso.

PURGADORES: Verificar su funcionamiento.

VALVULA DE SEGURIDAD: Abrirla manualmente, verificar el esfuerzo requerido para abrirla, cierre sin goteo.

TUBERIAS: Sin goteos en ninguna conexión o soldadura, aislante térmico en buen estado.

LIQUIDO DE CIRCULACION: Verificar el nivel, reponiendo en caso necesario.

CENTRAL ELECTRONICA: Verificar su funcionamiento, alterando el valor de disparo de los relés y comprobando que la bomba se para o se pone en marcha. Volver a la posición primitiva.

MANOMETROS, TERMOMETROS: Verificar que funcionan y que indican valores dentro de las previsiones.

VASO DE EXPANSION: Verificar su estado exterior.

LLAVES DE PASO: Accionarlas para evitar que se agarroten.

ANODO DE SACRIFICIO (Si lo hay): Verificar su estado (una vez al año en aguas no corrosivas, más a menudo en aguas corrosivas).

CALEFACTOR AUXILIAR: Verificar su funcionamiento y el punto de disparo del termostato.

CONTADORES (Si los hay): Verificar su funcionamiento, pueden ser contadores de agua caliente, de energía eléctrica consumida, de gas, etc.

Todo esto (personal encargado del mantenimiento en instalaciones grandes), unido a la sustitución de piezas defectuosas, origina unos **gastos** que hay que tener en cuenta.

En general, la instalación puede presentar problemas en los **primeros meses** de su puesta en funcionamiento. Su **tasa de fallos** puede ser elevada, llamándose a este breve período de tiempo la **zona infantil** (muchos de estos fallos pueden ser goteos, problemas hasta encontrar el punto óptimo del ajuste de la central electrónica, etc., en general carentes importancia).

Seguidamente se entra en la zona de **vida útil** de la instalación, en que la tasa de fallos suele ser **muy baja** y casi no se producen averías.

Finalmente, transcurrido el período de vida útil (que debiera ser por lo menos de 15 años), se inicia una fase en que la tasa de fallos **aumenta progresivamente** con el tiempo, que es denominada **fase de senectud** de la instalación, cuyos componentes irán fallando progresivamente por envejecimiento. Cuando la tasa de fallos empieza a crecer, es conveniente proceder a la **sustitución total o parcial** de la instalación solar (Fig. 5).

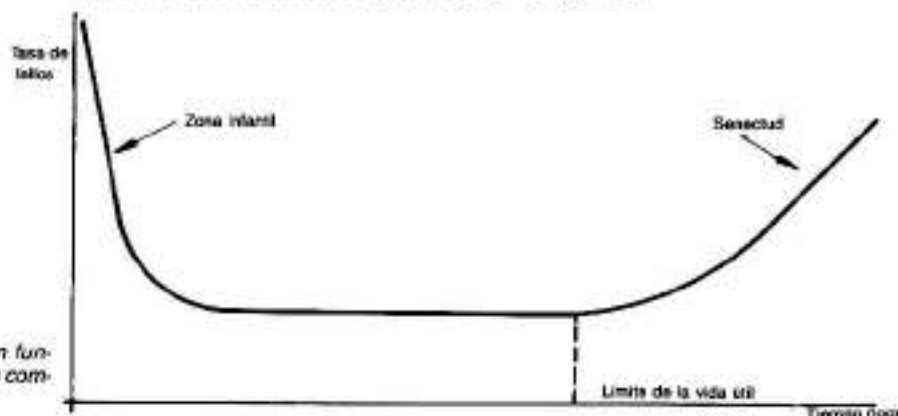


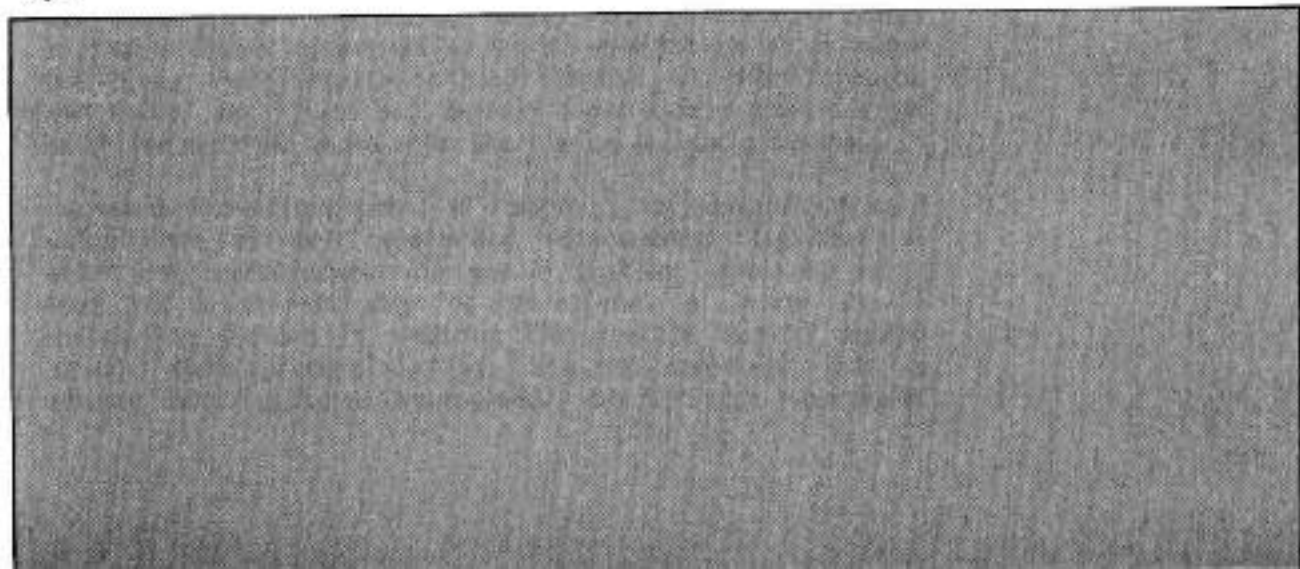
Fig. 5.— Tasa de fallos en función del tiempo de equipos complejos.



Otro gasto de mantenimiento de las instalaciones es el derivado de la **póliza de seguro**, que si bien no es obligatoria, es muy conveniente. Puede asegurarse la instalación no sólo contra actos vandálicos, sino también contra posibles **daños a terceros**, tales como desprendimientos y/o caída de componentes a la vía pública, derrames accidentales, inundación con daños en paredes, techo y mobiliario a terceros, incendio, etc.



LECCION 17



17. ASPECTOS ECONOMICOS DE LA ENERGIA SOLAR

INTRODUCCION

La decisión de instalar o no un equipo de energía solar debe hacerse racionalmente, en función de unos factores económicos que tienen que ver con su coste. En esta lección se explica cómo obtener la superficie óptima de captación a partir de los datos estudiados en las dos lecciones precedentes.

CONCEPTOS GENERALES

Aunque pueden hacerse instalaciones solares de todo tipo (viabiles económicamente, o por simples razones de prestigio), lo normal, y pasados ya los primeros años de la novedad, es que la **determinación del tamaño** (superficie de paneles solares) se haga en base a una serie de **criterios económicos serios**. En estos casos, las instalaciones de energía solar pueden llegar a ser altamente rentables.

Vimos en la lección 15 que para una misma instalación podíamos obtener diversas superficies que daban un valor del parámetro F (fracción anual de aportación solar) razonable. Si la superficie es cero, el valor de F es también cero. Para superficies muy grandes, el valor F puede ser mayor de 1, lo que quiere decir que sobra energía solar (el sistema capta más energía de la que consume).

Para una superficie cero, el coste de la instalación será únicamente el del **calefactor convencional** (resistencias eléctricas, calentadores de gas o gasóleo, caldera, etc.). Para un valor razonable de superficie, el coste de la instalación incluye lo anterior (recordemos que el equipo auxiliar debe proporcionar el 100% del consumo), más el equipo solar (paneles acumulador, etc). Para superficies



de paneles enormes, el parámetro F puede ser tan grande, que haga innecesario el uso del sistema auxiliar.

En estos tres casos anteriormente citados, el **coste del combustible auxiliar** varía desde muy alto, con una superficie de captación nula, hasta cero en el caso de superficies de captación enormes. Existe un **punto óptimo** que hace que los costes económicos sean mínimos. Este punto corresponde al valor de una superficie determinada.

Si la instalación se diseña con esta superficie y se mantienen una serie de hipótesis, que van desde el consumo diario y/o mensual, los valores de la irradiación, los aislamientos, etc., pasando por la tasa de inflación, aumento del precio del combustible, etc., la superficie elegida es óptima y produce el máximo **ahorro solar**. Veamos como se suele financiar una instalación solar.

Generalmente, y tras el estudio de **viabilidad económica**, el propietario se dirigirá a un Banco y pedirá un **préstamo** con el que deberá pagar los gastos de la instalación, que ya habían sido evaluados en el correspondiente **presupuesto** (vamos a suponer que carece de los fondos necesarios en su patrimonio líquido en ese momento).

El Banco concederá el préstamo a un **tipo de interés** determinado y durante un cierto período de años.

El propietario deberá pagar al Banco una cantidad anual llamada **amortización**, durante el número de años que se le haya concedido el préstamo. Consideraremos el supuesto lineal, que es el más simple, en el que el valor de estas amortizaciones es el mismo en cada anualidad*. Al realizar el propietario el pago de la última amortización, el préstamo quedará cancelado.

El propietario debe, para realizar el estudio que nos ocupa, tener cierta idea de como evolucionarán los **precios del combustible** en el futuro y hacer una estimación de la **inflación** previsible en los próximos años.

Es evidente que estos dos valores, incremento de los precios del combustible e inflación general (incremento del coste de la vida) son **imprevisibles** y pueden no ser constantes a lo largo de un período moderado de años. Para evitar

*Supondremos que el crédito se amortiza por el llamado «Sistema Francés» o de la anualidad constante. Esta anualidad es la suma de los intereses y la amortización del principal, propiamente dicha. Los intereses son decrecientes (en cada anualidad tienen una parte menor) y la devolución del principal, creciente en la misma proporción, pues el importe adeudado al Banco disminuye de año en año y los intereses gravitan sólo sobre la parte pendiente.



este problema es conveniente hacer algunos tanteos o suposiciones en base a dar valores reducidos y elevados y observar los resultados.

AHORRO SOLAR

En general, un sistema de energía solar será más barato que uno convencional si los ahorros de combustible respecto al sistema convencional son mayores que el valor de las amortizaciones del préstamo de su compra.

Esto exige estimar aparte de la tasa de incremento de los precios del combustible y la inflación prevista, la **vida útil** de la instalación solar, que será el número de años en que la tasa de averías se mantenga a un nivel bajo y constante, como vimos en la lección anterior.

En general, para cualquier instalación (solar o convencional) se cumple que:

Coste anual = Pago amortización + Gastos combustible +
+ Mantenimiento y seguro.

Y en el caso de **instalaciones solares subvencionadas** en España, el coste total de la instalación es el coste de la instalación en sí misma menos el **valor de la subvención**, que consiste en un **pago único** de cuantía proporcional a la superficie de paneles solares. Este valor de la subvención es variable según los años.

Así, pues, la cuantía del préstamo que nos concederá el Banco deberá ser igual al valor de la instalación menos la subvención. Esta será la cantidad de dinero que el propietario abonará al instalador (las empresas instaladoras suelen encargarse de cobrar la subvención y no el propietario).

El **ahorro solar** es la diferencia entre los **costes totales** actualizados de un sistema solar y los de otro convencional. Escogiendo una superficie de paneles adecuada, se puede hacer que el ahorro solar sea **máximo**. Si utilizáramos valores muy pequeños o muy grandes de superficie, el ahorro solar sería negativo, o sea que perderíamos dinero respecto a un sistema convencional.

El concepto de ahorro solar tiene la ventaja de que solamente se evalúan las **diferencias** entre un sistema solar y

otro convencional. Así, si ambos sistemas precisan una caldera, idéntica en ambos casos, las mismas tuberías, etc., no es necesario evaluar estos datos económicamente, pues se anulan entre sí.

Si un producto tal como el combustible está sometido simultáneamente a una **inflación propia** (que lo encarece) y a la **inflación general** (coste de la vida) que tiende a depreciarlo, puede establecerse una función **g** tal que multiplicando este valor de **g** por el pago del primer año, nos dé el valor actualizado de la suma de todos los pagos durante los **N** años. Esta función vale:

$$g = \frac{1}{i - c} \left(1 - \left(\frac{1 + c}{1 + i} \right)^N \right)$$

para $i \neq c$
ó $N(1 + i)$ para $i = c$

i = inflación (coste de la vida) en tanto por uno.

c = inflación del combustible (en tanto por uno).

N = número de años.

NOTA: Los años de duración del préstamo y de la vida útil de la instalación pueden ser valores iguales o diferentes.

La ecuación dada anteriormente presupone que los pagos se realizarán una vez al año, al final de cada período anual (que nosotros consideraremos el 31 de diciembre, pero que puede ser cualquier día del año). El valor actualizado es el mismo durante un año a partir del 1 de enero. Los gastos del primer año están incluidos, lógicamente, en el primer período de tiempo.

Esta ecuación tiene también otras utilidades. Podemos calcular el valor de la amortización del préstamo, simplemente haciendo $C = 0$ y sustituyendo el valor de la inflación por el interés del préstamo que llamaremos d . Si dividimos el valor del préstamo por g , obtendremos el dinero que habremos de pagar cada año (valor de la amortización).

Ahora bien, el tipo de interés que aplica el Banco es superior a la inflación (coste de la vida), ya que de lo contrario el Banco no tendría beneficios. Podemos actualizar el valor total de estas amortizaciones simplemente multiplicando el valor de la amortización por la función



g , haciendo $c = 0$ y i = índice de inflación general (coste de vida), con lo que obtendremos el coste **actualizado** de las amortizaciones. No entraremos en la demostración matemática de estas fórmulas por cuanto es una cuestión que se aparta de los propósitos de este curso y que requiere conocimientos superiores de la materia.

Ejemplo: Supongamos un préstamo de 1.000.000 ptas. al 12% durante 8 años. El valor de g para $d = 0,12$ y $N = 8$ es:

$$g = \frac{1}{0,12} \left(1 - \left(\frac{1}{1 + 0,12} \right)^8 \right) = 4,97$$

El valor de cada una de las amortizaciones será:

$$1.000.000 / 4,97 = 201.303 \text{ ptas.}$$

Es decir, se tendrán que pagar en total: 201.303 ptas./año x 8 años = 1.610.422 ptas. Ahora bien, si la inflación es del 9% anual el valor actualizado* será menor que estas 1.610.422 ptas.

$$g' = \frac{1}{0,09} \left(1 - \left(\frac{1}{1 + 0,09} \right)^8 \right) = 5,53$$

Por lo que el valor actualizado de todos los pagos de la amortización será de:

$$201.303 \text{ ptas./año} \times 5,53 = 1.114.175 \text{ ptas.}$$

Este valor es inferior a la suma de todas las amortizaciones, y es el que deberemos tener en cuenta a la hora de calcular el ahorro solar.

EXPLICACION DEL METODO A SEGUIR

El presupuesto de la instalación se debe realizar de modo que comprenda dos apartados: los **costes proporcionales** a la superficie y los **costes fijos** que no dependen de la superficie.

*Se entiende por valor actualizado al referido al momento presente (es decir, expresado en pesetas «hoy» por retracción del índice de crecimiento de los precios).



Los datos se evalúan dividiendo la suma de los costos proporcionales por los metros cuadrados de superficie **estimada** razonable (este último valor se toma al azar, pero dentro de ciertos límites), obteniéndose un precio por metro cuadrado que será el que tomaremos como base de cálculo. En realidad, algunos de estos costes no son estrictamente proporcionales. Por ejemplo, un acumulador de doble capacidad puede no costar el doble que uno sencillo, sino, probablemente algo menos.

Este cálculo del coste por metro cuadrado se puede rehacer cuando finalmente se ha obtenido el valor de la superficie óptima, en caso de que el valor elegido al azar y el óptimo fueran diferentes del valor estimado.

Los **costes fijos** se suman todos, obteniéndose por un lado el **coste por metro cuadrado** y por otro el **coste fijo total**.

El resto del cálculo consiste en ir rellenando un formulario. Este formulario contiene un número indeterminado de filas, que corresponderán a diversos valores de superficies tomados al azar. Veamos las distintas columnas:

- 1) Contiene distintos valores de superficie útil de paneles solares elegidos al azar por el método "F - CHART" explicado en la lección 15.
- 2) Contiene las fracciones anuales "F", que corresponden a estas superficies.
- 3) Valor de la función **g** del **préstamo**, referente a los años de duración del mismo y al tipo de interés aplicado.
- 4) Valor de la función **g** referida al número de años de **vida útil** de la instalación y a la inflación general (coste de la vida).
- 5) Valor de subvención en ptas./m².
- 6) Valor **total** de la subvención. Esto se obtiene multiplicando la superficie (columna 1) por el valor de la subvención por m² (columna 5).
- 7) Coste de la instalación sin subvención.
- 8) Valor del **préstamo** = coste de la instalación menos la subvención.



- 9) Importe del valor del préstamo que es **proporcional** a la superficie. Es igual a la suma de todos los componentes proporcionales a la superficie de la instalación (por ejemplo el precio de todos los paneles, de todos los soportes, etc.) menos el importe de la subvención = Gastos proporcionales.
- 10) Importe del valor del préstamo que no depende de la superficie = Gastos fijos.
- 11) Valor del coste **actualizado** del préstamo. Es igual al de las columnas 4 y 8 dividido por el valor de la columna 3.
- 12) Precio por Kg de combustible (o Kwh).
- 13) Poder calorífico del combustible (J/Kg.)
- 14) **Rendimiento energético** del elemento calefactor (caldera, calentador, resistencias, etc.).
- 15) **Aportación solar anual**. Es la suma de la columna 22 del formulario "F - CHART".
- 16) Precio del combustible **ahorrado** en el primer año. Es igual al producto de las columnas 12 y 15, dividido por las columnas 13 y 14.
- 17) Función **g** referente a la **inflación del combustible c**, a la **inflación i** y a los años de **vida útil** de la instalación.
- 18) Coste **actualizado** del combustible **ahorrado** en los años de **vida útil** de la instalación. Es igual al producto de las columnas 16 y 17.
- 19) Fracción del préstamo referido sólo a los gastos proporcionales. Es igual al cociente entre la columna 9 y 8, multiplicado por la columna 11.
- 20) Coste del mantenimiento y del seguro del primer año.
- 21) Fracción del coste del mantenimiento y del seguro de los años de vida útil de la instalación referida a la parte proporcional a la superficie. Es igual al cociente entre las columnas 9 y 8, multiplicado por la columna 20 y por el número de años de vida útil.
- 22) Ahorro solar. Es igual al valor de la columna 18

menos las columnas 19 y 21.

Obtenido el valor de la columna 22 para determinadas superficies elegidas al azar, se observa cuál de ellos es el mayor. Es conveniente que el mayor ahorro obtenido, tenga para superficies algo mayores y algo menores que él, valores de ahorro inferiores.

Entonces, este valor de superficie se compara con el que dimos a la superficie **estimada** para calcular el metro cuadrado (a partir del cual el instalador dió el presupuesto), empleándose el método de **aproximaciones sucesivas**. En efecto, si el valor de superficie obtenido difiere sensiblemente del valor que habíamos elegido, deberemos sustituir los valores de las columnas 6 y 7 por otros, rehaciendo el cálculo hasta obtener otro coste mínimo y una nueva superficie óptima.

En general, con 1 ó 2 veces que se repita el sistema de **aproximaciones sucesivas** ya es suficiente para dar un valor de superficie muy próximo al óptimo. Cuando las diferencias son del orden de 2 m^2 , ya no vale la pena seguir, pues ésta es la superficie aproximada de un panel solar y, lógicamente, el número de paneles debe ser entero.

Como se observa, podemos representar en una gráfica el ahorro solar a lo largo de la vida útil de la instalación en función de la superficie útil de paneles solares. Para valores de superficie muy pequeños, el ahorro solar puede ser negativo (son pérdidas), luego crece hasta pasar por un máximo y posteriormente decrece, hasta que, para valores de superficie muy elevados el ahorro solar se hace otra vez negativo (Fig. 1).

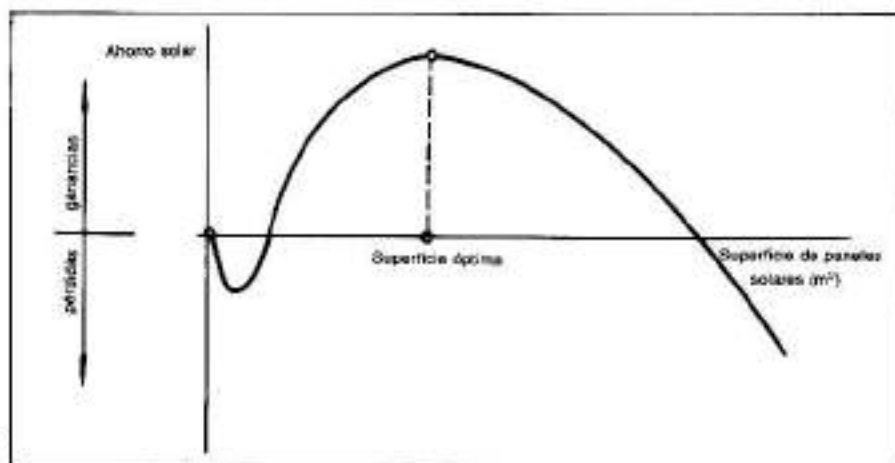


Fig. 1.— Ahorro solar en función de la superficie.



El método indicado se presta admirablemente al trabajo de un ordenador, que puede hacer todos los cálculos, tanteos, etc. de forma rápida y eficiente. Si se dispone de uno o de la posibilidad de utilizar el de un amigo, vecino o conocido, es muy interesante poder comprobar como cambiando los parámetros va variando la superficie óptima. No obstante esto, el cálculo se puede hacer con la ayuda del formulario y una calculadora de bolsillo de forma bastante rápida.

EJEMPLO:

Volvamos al ejemplo propuesto en la lección 15. Allí habíamos obtenido 3 valores de los parámetros F para una superficie de 75, 100 y 125 que parecían razonables. Ahora estamos en condiciones de determinar cuál es la superficie óptima de captación.

Para ello necesitaremos los datos complementarios siguientes: "El instalador ha hecho un presupuesto, en base a 100 m², de 4.000.000 ptas., que se desglosan en 3.000.000 ptas de costos proporcionales a la superficie y 1.000.000 ptas de costes fijos.

La subvención de la Administración es de 6.000 ptas./m².

El Banco concede un préstamo por valor del importe total menos la subvención (3.400.000 ptas para los 100 m²), al 13% de interés anual y durante 10 años.

Se prevé que el combustible a utilizar aumenta de precio un 2% más que la inflación, que se fija en un 8% ($C = 10\%$ $i = 8\%$).

La vida útil de la instalación es prevista en 20 años.

El propano, que se usará como combustible, cuesta (a precio de hoy) 30 ptas./kg. y su poder calorífico es de 45 MJ/Kg. El rendimiento de la caldera donde se quemará es del 70%.

El mantenimiento y el seguro importan el 1% del coste total de hoy día.

Determinar la **superficie óptima** de panel solar.

Procederemos a ir **rellenando** el formulario económico (en este ejemplo lo haremos para una superficie de 100 m², pero daremos los resultados de los de 75 y 125 m²).



En la columna 1 ponemos una superficie elegida al azar = 100 m^2 .

En la columna 2 ponemos la **fracción solar** anual que corresponde a esta superficie = 0,7144.

En la columna 3 ponemos el valor de la función g referente al **préstamo** (10 años y 13% de interés) $g = 5,42$.

Hacemos lo mismo con la columna 4 respecto a la **inflación**. (20 años y 8% de inflación anual) $g = 6,71$.

En la columna 5 ponemos el valor actual de la **subvención** (este valor varía cada año = 6.000 ptas./ m^2).

En la columna 6 indicamos el valor **total** de la subvención, que como son 100 m^2 asciende a 600.000 ptas.

El coste de la instalación (materiales + mano de obra) se coloca en la columna 7 = 4.000.000 ptas (sin contar la subvención). Este coste se refiere a una superficie estimada.

En la columna 8 se coloca el **valor del préstamo**, que es igual al coste de la instalación menos el importe de la subvención = 3.400.000 ptas. Este es el **coste total** de la instalación.

En la columna 9 colocamos el importe del presupuesto que es **proporcional** a la superficie, menos el importe de la subvención = 3.000.000 - 600.000 = 2.400.000 ptas.

La columna 10 contiene el importe del presupuesto que **no** depende de la superficie. En este caso vale 1.000.000 ptas.

En la columna 11 obtenemos el **valor actualizado del préstamo**. Para ello, multiplicamos el valor del préstamo por la columna 4 y dividimos el resultado por la columna 3 = 4.204.432 ptas.

En la columna 12 ponemos el precio del kilo de combustible (o del Kwh) = 30 ptas./Kg.

En la columna 13 indicamos el poder calorífico del combustible.

En la columna 14, se indica el rendimiento de la caldera de gas. En este caso vale 0,7 (70%).



La columna 15 contiene la **aportación solar anual**, que corresponde a la suma de valores de la columna 22 del formulario "F - CHART", expresado en Julios = 2,36 E 11 J.

La columna 16 indica el **precio del combustible ahorrado** durante el primer año. Para ello multiplicamos su precio por la aportación solar anual y dividimos por el poder calorífico y por el rendimiento de la caldera. El coste del combustible del primer año es de 224.345 ptas.

En la columna 17 obtenemos la función **g** referida a la **inflación del combustible c**, a la **inflación general i** y a 20 años. Este valor vale 22,17.

La columna 18 contiene el **importe actualizado** de todo el combustible ahorrado durante los 20 años de vida útil de la instalación, que suma la cantidad de 4.973.433 ptas.

La columna 19 contiene la **fracción actualizada** del importe del préstamo, referida a los costes proporcionales. Este valor es igual al cociente entre el importe del préstamo proporcional a la superficie (columna 9) y el valor del préstamo (columna 8), multiplicado por el coste actualizado del préstamo (columna 11) = 2.967.835.

La columna 20 contiene los **costes del mantenimiento y del seguro anuales**, que han supuesto cada uno de ellos el 0,5% del coste total, lo que importa 40.000 ptas. el primer año.

La columna 21 indica la **fracción referida** a la parte proporcional a la superficie, actualizada de los costes de seguro y mantenimiento. Se calcula como la columna 19 = 564.705 ptas.

Finalmente, la columna 22 contiene el **ahorro solar**, que es igual al coste actualizado del combustible ahorrado menos la fracción del préstamo referido a los gastos proporcionales a la superficie y menos la fracción del mantenimiento y del seguro referido a los gastos proporcionales a la superficie (columna 18 - columna 19 - columna 21) = 1.440.892 ptas.

Si hacemos el cálculo para las superficies de 75 y 125 m², obtendremos ahorros solares de 1.399.932 y 130.120 ptas. Como el valor obtenido es el mayor, ello quiere decir que una superficie de 100 m² es más óptima que una de 75 o de 125 m². Si se repiten los cálculos, tan-



teando otras superficies en el intervalo próximo al óptimo relativo, obtendremos finalmente que la superficie óptima es de 93 m².

Como se observa en este caso, para una superficie nula el ahorro solar es cero; al aumentar la superficie suele aumentar el ahorro solar hasta pasar por un máximo (a veces para superficies muy pequeñas puede ser negativo). Si seguimos aumentando la superficie, este valor disminuye hasta que a partir de una determinada superficie muy grande se hace negativo (son pérdidas).

NOTA: El **coste total** de la instalación es el valor de la columna 8, referido a la superficie que se haya elegido. Obsérvese que el mínimo de este valor no se corresponde con el máximo ahorro solar. Así, en el ejemplo propuesto, el máximo ahorro solar se produce con 93 m² y el mínimo coste de la instalación suele coincidir con el valor de la superficie mínima (75 m² en nuestro caso).

DATOS DE INTERES

PROGRAMA PARA AÑADIR AL "F-CHART" QUE REALIZA EL CALCULO ECONOMICO DE UNA INSTALACION DE ENERGIA SOLAR

```
6000 '
6001 'MODULO PARA EL CALCULO ECONOMICO DEL PROGRAMA F-CHART DE AIRE O LIQUIDOS
6002 '
6010 if j <> 0 then goto 7170
6020 input "OTRA SUPERFICIE = 0 ESTUDIO ECONOMICO = 1 "; w
6030 if w = 0 then goto
6040 E(1, 1) = s
6041 E(1, 2) = f
6050 input "PRESUPUESTO DE LA INSTALACION: "; pr
6060 input "SUPERFICIE A LA QUE ESTA REFERIDO EL ANTERIOR PRESUPUESTO: "; sp
6070 print "PARTE DEL PRESUPUESTO PROPORCIONAL A LA SUPERFICIE DE"
6071 input "PANELES SOLARES: "; ss
6080 sf = pr - ss
6090 input "VALOR DE LA SUBVENCION POR METRO CUADRADO: "; sb
7000 st = sb * sp
7010 pt = pr - st
7020 input "INTERES DEL PRESTAMO BANCARIO (%): "; ii
7021 ii = ii / 100
```



```

7030 input "DURACION DEL PRESTAMO BANCARIO: "; nd
7040 input "VIDA UTIL DE LA INSTALACION: "; vu
7050 input "INFLACION GENERAL (%): "; inf
7060 inf = inf / 100
7070 input "INFLACION DEL COMBUSTIBLE (%): "; ic
7080 ic = ic / 100
7090 input "PRECIO ACTUAL DEL Kg. (Kwh.) DE COMBUSTIBLE: "; pc
7100 input "PODER CALORIFICO DE UN Kg. (Kwh.) DE COMBUSTIBLE (Mj.): "; cc
7110 input "RENDIMIENTO ENERGETICO DE LA CALDERA (Resistencias elect.): "; rc
7120 if rc > 1 then goto 7110
7130 input "PORCENTAJE ANUAL DEL MANTENIMIENTO Y DEL SEGURO (%): "; sg
7140 sg = sg / 100
7150 print "CALCULAREMOS EL AHORRO SOLAR DE 5 SUPERFICIES."
7160 input "INDIQUE LA DIFERENCIA, (m2.) ENTRE UNA SUPERFICIE Y OTRA: "; in
7170 if ; <> 0 then gosub 8000
7180 s = sk - 2 * in + j * in
7190 j = j + 1
7200 if ; < 5 then gosub 9000: goto 7150
7210 goto
8000 '
8010 ' Subrutina de cálculo
8020 '
8030 E(j, 1) = s
8040 E(j, 2) = f
8050 E(j, 3) = (1 / ii) * (1 - (1 / (1 + ii)^np))
8060 E(j, 4) = (1 / inf) * (1 - (1 / (1 + inf)^np))
8070 E(j, 17) = (1 / (inf - ic)) * (1 - ((1 + ic) / (1 + inf))^vu)
8080 E(j, 5) = sk
8090 E(j, 6) = sk * s
8100 E(j, 7) = (pr - ss) + ss * (s / sp)
8110 E(j, 8) = E(j, 7) - E(j, 6)
8120 E(j, 9) = E(j, 8) - pr + ss
8130 E(j, 10) = pr - ss
8140 E(j, 11) = (E(j, 4) * E(j, 8)) / E(j, 3)
8150 E(j, 12) = pc
8160 E(j, 13) = cc
8170 E(j, 14) = rc
8180 E(j, 15) = aps
8190 E(j, 16) = (E(j, 12) * E(j, 15)) / (E(j, 13) * E(j, 14))
8200 E(j, 18) = E(j, 16) * E(j, 17)
8210 E(j, 19) = (E(j, 9) * E(j, 11)) / E(j, 8)
8220 E(j, 20) = sg * E(j, 7)
8230 E(j, 21) = (E(j, 9) * E(j, 20) * vu) / E(j, 8)
8240 E(j, 22) = E(j, 18) - E(j, 19) - E(j, 21)
8250 print "SUPERFICIE: "; s; " m2."
8260 print "AHORRO SOLAR: "; E(j, 2)
8270 print

```



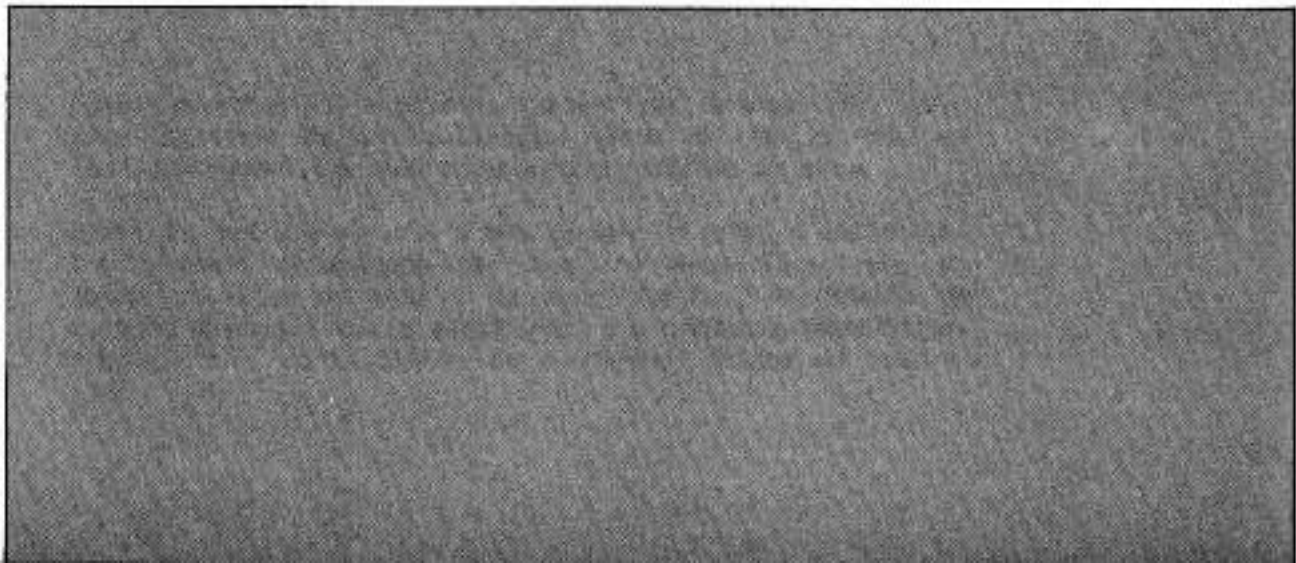
9050 return



FORMULARIO ECONOMICO "F-CHART" (2ª parte)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Precio del combust.	Poder calorífico M.J.	Rendim. calefac.	Aportación solar anual M.J.	Coste del comb. ahorr. en 1 año $\frac{12 \cdot 15}{12 + 16}$	g infiacio combust. combu.	Coste actual del combust. ahorrado $16 \cdot 17$	Fracción de gastos prop. del préstam. $\frac{9}{8} - 11$	Manten. + seguro de 1 año	Coste actual del manten. + seguro $\frac{9}{8} \cdot 20 + vu.$	ANORRO SOLAR $18 - 19 - 21$
30	45	0,7	2,36 E 11	224.345	22,17	4.973.433	2.967.835	40.000	564.705	1.440.892
30	45	0,7	2,71 E 11	258.856	22,17	5.727.414	3.709.793	47.500	712.560	1.305.120
30	45	0,7	1,91 E 11	182.404	22,17	4.043.665	2.225.876	32.500	417.857	1.398.932
30	45	0,7	2,22 E 11	211.830	22,17	4.695.989	2.730.438	37.600	517.566	1.447.995
30	45	0,7	2,24 E 11	213.439	22,17	4.731.676	2.760.066	37.900	523.470	1.448.119
30	45	0,7	2,26 E 11	215.036	22,17	4.767.073	2.789.764	38.200	529.356	1.447.952

LECCION 18



18. CORROSION Y PREVISION DE LA CORROSION EN INSTALACIONES SOLARES

INTRODUCCION

Una de las causas que afecta negativamente a las instalaciones de energía solar, impidiendo un rápido desarrollo de las mismas, es la derivada de los problemas de durabilidad de las instalaciones, y de un modo particular la corrosión de aquéllas, que hace que queden anticipadamente fuera de servicio.

En esta lección se estudiarán los diferentes tipos de corrosión y la forma de evitarla.

CORROSION Y TIPOS DE CORROSION

La **corrosión** es el fenómeno por el cual los metales sufren un proceso de **alteración química**, que les lleva a que el metal vaya siendo reemplazado por otros compuestos químicos.

Estos compuestos químicos pueden ser **óxidos** (en cuyo caso se habla de una **oxidación**), pero lo más normal es que sean elementos más complejos y mezclas de ellos.

Entre los agentes naturales que pueden afectar a los metales tenemos el **oxígeno** del aire, el **agua** (bien sea en forma de vapor de agua o de agua líquida), el **bióxido de carbono** presente en la atmósfera, los **contaminantes industriales**, tales como **óxidos de nitrógeno**, **óxidos de azufre**, etc.

Los diferentes metales utilizados en las aplicaciones de energía solar se comportan de distinta forma frente a los agentes agresivos externos, como es bien sabido. Sin embargo, todos ellos tienen en común el hecho de que en presencia del agente reaccionan químicamente, haciendo que el metal pase a ser un compuesto químico.

Las propiedades **mecánicas** (resistencia a la ruptura por tracción, dureza, elasticidad, etc.) de los metales son completamente diferentes de las de los compuestos. Consideremos una tubería en el interior de la cual circula un líquido a presión. El grosor de la tubería, junto con la resistencia del metal y su impermeabilidad, impiden que el líquido salga a su exterior. Si el metal de la tubería se va corroyendo (desapareciendo), el espesor se reduce progresivamente, y llegará un momento en que la tubería se romperá y el líquido empezará a escaparse de ella.

Otros ejemplos los podemos tener en los soportes de los colectores solares. Si estos se corroen, la sección eficaz del hierro disminuirá, y puede llegar un momento en que no resistan el peso de los colectores y se rompan.

Como vemos, el tema es lo suficientemente importante, como para dedicarle una lección. Empezaremos viendo las distintas formas de corrosión.

Las más importantes formas de corrosión son:

- Corrosión uniforme.
- Corrosión por picaduras (Fig. 1).



Fig. 1.— Corrosión uniforme y por picaduras.

La **corrosión uniforme** es aquella en que el metal va desapareciendo de forma uniforme a lo largo de toda la superficie expuesta al ataque químico. Así, una tubería de 1 mm. de espesor podría ir disminuyendo progresivamente de grosor, hasta que en algún punto de ella se llegaría al grosor

nulo, produciéndose la rotura (o antes de ese momento si está a presión).

Como se ve, la corrosión uniforme implica la eliminación de cantidades importantes de metal.

La **corrosión por picaduras** consiste en la formación de túneles u orificios profundos (picaduras) en el metal. Estos orificios pueden perforar el espesor del metal, dando lugar, en el caso de tuberías con líquidos, al derrame de los mismos.

Al revés que en el caso anterior, la **corrosión por picaduras** actúa de forma que elimina cantidades pequeñas de metal.

El hecho de que se produzca un tipo u otro de corrosión, depende de varios factores, pero fundamentalmente del tipo de metal y del agente corrosivo. Un mismo tipo de metal puede dar lugar a corrosión uniforme o por picaduras con distintos tipos de agentes corrosivos.

ZONAS DE LA INSTALACION DONDE SE PRESENTA LA CORROSION

Las causas por las cuales una instalación solar puede quedar fuera de servicio pueden ser muy variables. Desde meteorológicas, como vientos huracanados, granizo de gran tamaño, hasta acciones vandálicas, deterioramientos de la bomba, y otras. Pero la más importante es la **corrosión** que puede llegar a afectar a **toda la instalación**.

La corrosión puede presentarse en diferentes lugares de la instalación, a saber:

- En los soportes.
- En el marco exterior de los paneles.
- En la superficie selectiva.
- Dentro del circuito hidráulico de la placa colectora.
- En tuberías y/o intercambiador de calor.
- En el depósito de acumulación.
- En la bomba de circulación. (Fig. 2).

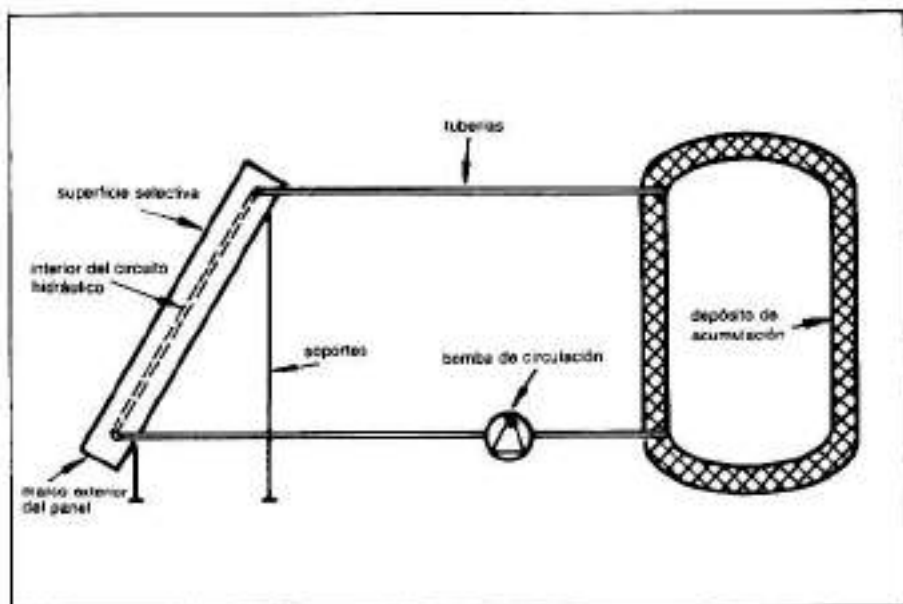


Fig. 2.— Zonas de corrosión en una instalación solar.

La **corrosión** en los **soportes** no suele tener problemas especiales, excepto en el caso de estar la instalación situada cerca del mar o en ambientes industriales con emanaciones altamente corrosivas.

El **marco exterior** de las placas se puede corroer dependiendo del metal usado. Si hay corrosión, ésta comienza en las zonas donde se acumula agua de lluvia. Estas zonas suelen corresponder a los puntos de contacto (preferentemente los inferiores) entre el panel y el soporte estructural, así como junto a la cubierta.

El resultado de esta corrosión es la perforación del marco exterior y la **pérdida de estanqueidad** del panel solar. Como consecuencia de esto, puede entrar agua de lluvia dentro del panel y producirse **vaho** en el interior de la cubierta, lo que disminuirá notablemente el rendimiento del panel, como ya sabemos.

Si no se produjera entrada de agua dentro del panel, la corrosión no tendría excesiva importancia, siendo tan sólo un problema estético.

La corrosión sobre la **superficie selectiva** es siempre consecuencia de la presencia de **humedad** en el interior del panel. Si la sustancia selectiva es del tipo de un óxido metálico, es frecuente su **hidratación** y que ésta pase a ser de otro color. Así, por ejemplo, los recubrimientos a



base de óxido de cobre negro (CuO), se transforman en hidróxido, y, posteriormente, gracias a la acción del dióxido de carbono del aire, en carbonatos de cobre de color verde, con notables pérdidas de sus características primitivas de absorbancia y emitancia.

Otros tipos de recubrimientos selectivos (o no selectivos), pueden sufrir alteraciones parecidas, o bien puede oxidarse la placa base, haciendo saltar el recubrimiento. Este caso es frecuente en placas de hierro pintadas de negro, en el supuesto de que se oxiden.

En el interior del circuito hidráulico de la placa colectora puede haber corrosión debido al uso de **materiales o líquido inadecuados**. La corrosión en este caso se ve favorecida por que está en la zona de la instalación a **más alta temperatura**. La corrosión comienza perfectamente en la parte superior de la placa -en su interior-, especialmente en los puntos donde hay soldaduras (en el caso de que existan).

Según el tipo de materiales de la placa colectora y del líquido que circula en su interior, este tipo de corrosión puede ser **muy rápida**, o bien no aparecer nunca. Por esto es muy importante una buena elección del material del circuito hidráulico de la placa colectora y del líquido de circulación.

La corrosión en las tuberías suele aparecer preferentemente en el interior de la rama caliente y en el exterior de la rama fría, debido a la condensación de humedad, aunque en general no suele ser importante.

El **acumulador de calor** es, juntamente con los paneles, uno de los lugares **más críticos** de la instalación solar, ya que si éste se perfora, la deja prácticamente inservible. Además, dado que el acumulador es una de las piezas más caras de la instalación y es de difícil sustitución (debido a su gran volumen), es conveniente, **extremar las precauciones** para evitar que le afecte la corrosión. Pensemos que un panel se puede cambiar fácilmente por otro, mientras que un acumulador de gran tamaño exige mayores esfuerzos.

La corrosión en el acumulador puede producirse bien en las paredes del mismo, o bien sobre el intercambiador de calor. Esto se examinará en el siguiente apartado de esta lección con más detalle.

La **bomba de circulación** puede presentar problemas de corrosión en el interior de la carcasa y en el rodete. Este

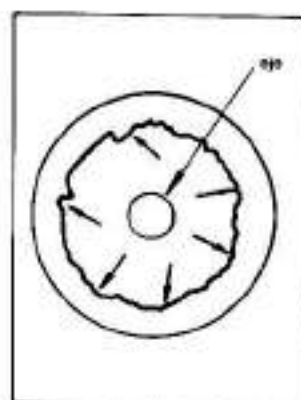


Fig. 3.— Cuerpo de una bomba afectada por cavitación (la cavitación arranca material).

tipo de corrosión es frecuente que se produzca por **arranque mecánico** de metal, como consecuencia de tener el líquido partículas sólidas en suspensión que van erosionando la bomba o por fenómenos de **cavitación**, que consiste en la vaporización instantánea de pequeñas cantidades de líquido sobre el rodete de la bomba. La cavitación se ve favorecida si el líquido está próximo a su temperatura de ebullición. Por esta razón, la bomba siempre se instala en la rama fría (Fig. 3).

LA CORROSION EN EL CIRCUITO HIDRAULICO

Vimos en la lección 12 que los acumuladores podían tener ninguno, uno o dos intercambiadores de calor, y que la elección de cada uno de estos tres tipos dependía fundamentalmente (aparte del problema de las heladas) de la resistencia a la corrosión.

Un acumulador sin intercambiador de calor sólo es recomendable en el caso de calefacción y, aun así, si la instalación es grande, el elevado precio del glicol utilizado como anticongelante puede hacer prohibitivo su uso. En agua caliente sanitaria, este tipo de disposición (acumulador sin intercambiador de calor) no es recomendable, excepto en instalaciones muy pequeñas realizadas en climas cálidos, donde el agua potable no presenta problemas y el circuito hidráulico está hecho de materiales nobles en su totalidad (acero inoxidable).

La disposición más común es la que emplea un solo intercambiador. En este caso, el lado de paneles puede quedar suficientemente protegido mediante un tratamiento adecuado del líquido de circulación. El lado de consumo presenta aspectos diferentes según se trate de una instalación de calefacción o de agua caliente sanitaria.

Las instalaciones de calefacción son menos problemáticas, pues bastará añadir al agua aditivos anticorrosivos para tener controlado el problema. Recordemos que en caso de calefacción este agua **no** debe renovarse periódicamente, excepto para compensar las posibles pérdidas por evaporación y fugas.

Al ponerse en marcha por primera vez la instalación, el agua contiene **aire disuelto** y, por tanto, **oxígeno** en canti-



dad variable entre 5 y 15 mg/litro, lo que representa entre 3 y 10 cm³ de este gas. Al calentarse el agua por primera vez, este aire disuelto escapa en forma de burbujas, que deben **eliminarse** mediante los purgadores situados en las zonas altas de la instalación.

Si este oxígeno no es eliminado en su totalidad (cosa que exigiría que el agua alcanzase la temperatura de ebullición), el oxígeno disuelto empieza su acción corrosiva sobre la instalación.

Si el agua de calefacción no es renovada, el oxígeno se **agota** rápidamente y este fenómeno corrosivo se retarda considerablemente, aunque como pronto veremos, la instalación puede tener otros tipos de corrosión. En estas circunstancias la instalación puede durar sin problemas largos años.

Cuando se producen las **primeras perforaciones**, lo más normal es que el número de perforaciones aumente rápidamente de forma espectacular, evidenciando que ya se ha **terminado la vida útil** de la instalación, puesto que cada reparación exige, por lo general, vaciar el agua, con lo que el agua nueva vuelve a introducir más oxígeno y el proceso de corrosión se acelera.

Ya hemos dicho que estas instalaciones de calefacción, pueden perder pequeñas cantidades de agua. Normalmente este aporte de agua no tiene excesiva importancia, pero si se hace de forma automática y sin un contador que evidencie los litros de agua nueva que se aportan a la instalación y ésta tiene fuertes pérdidas, no tardarán mucho en presentarse problemas.

En consecuencia un agua **algo sucia** en el circuito de calefacción es una buena señal, ya que significa que el líquido lleva mucho tiempo en el circuito de calefacción y, por lo tanto, ha perdido su oxígeno.

Por el contrario, un agua **limpia** puede ser muy corrosiva, e indica posibles fugas si la instalación se recarga automáticamente. Del mismo modo, un agua **muy sucia** puede evidenciar una corrosión intensa, que tal vez tenga lugar por otros motivos.

Entre estos otros motivos señalaremos la formación de **pilas eléctricas**, consecuencia de la unión de dos metales diferentes, en contacto eléctrico entre ellos a través de un **líquido conductor** de la corriente eléctrica, como pueda

ser el agua, debido a las sales que siempre lleva disueltas (Fig. 4).

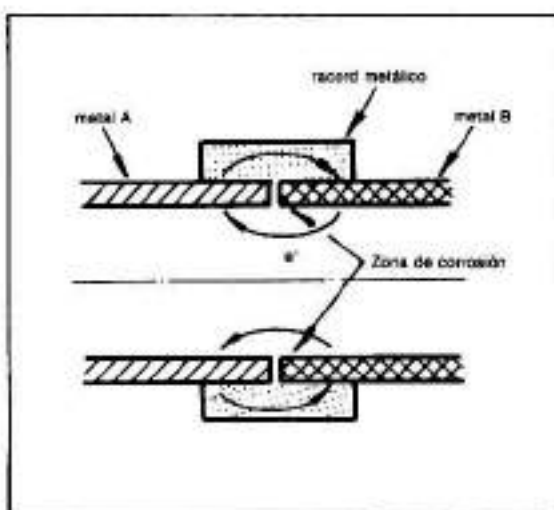


Fig. 4.— La unión de los metales diferentes origina una pila eléctrica, con la consiguiente corrosión. La corriente eléctrica circula a través del líquido y retorna por la unión de las tuberías.

En efecto, los diferentes metales pueden clasificarse según el **potencial eléctrico** de oxidación en orden creciente de potenciales (voltios). El potencial de oxidación expresa la tensión en voltios necesaria para que el metal pasa a ser un compuesto. Así, el aluminio tiene un potencial de $-1,66$ voltios mientras que el cobre es de $+0,34$. Si unimos una pieza de aluminio y otra de cobre mediante un material conductor (por ejemplo un paño impregnado de agua salada) podemos medir con un voltímetro una tensión total (diferencia de potencial) de $1,66 + 0,34 = 2$ voltios (Fig. 5). El aluminio es el electrodo negativo y el cobre el positivo. En esta pila, el aluminio se **corroe** mientras que el cobre queda inalterado. En las pilas normales de linterna, el electrodo negativo es el vaso de zinc, que se corroe, mientras que el electrodo positivo de grafito queda inalterado.

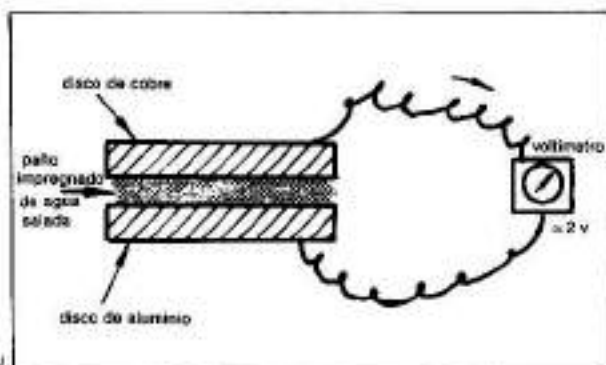


Fig. 5.— Pila eléctrica elemental.

En consecuencia, si en una instalación ponemos **metales diferentes en contacto**, tendremos problemas a menos que utilicemos como líquido un aceite térmico no conductor de la electricidad.

Esto es, por desgracia, muy frecuente: las tuberías son de un metal, los radiadores de otro, las llaves de paso y accesorios de otro, el acumulador de otro, etc. En la unión de dos metales diferentes bañados por un líquido conductor, el que tiene el potencial más negativo se corroe, mientras que el otro queda inalterado. El resultado es la formación de un circuito eléctrico, en el cual la **velocidad de corrosión** es proporcional a la **intensidad de corriente** y a la **diferencia de potencial** entre los metales (corrosión electroquímica).

Por lo tanto, unir metales de potenciales muy diferentes es **altamente desaconsejable**.

Para evitar la corrosión, en el caso de existir uniones de metales diferentes, podemos actuar aumentando la **resistividad eléctrica del líquido**, con lo cual dificultaremos el paso de la corriente eléctrica y/o interponiendo entre estos dos metales un manguito, racord o arandela de material plástico no conductor de la corriente eléctrica (Fig. 6).

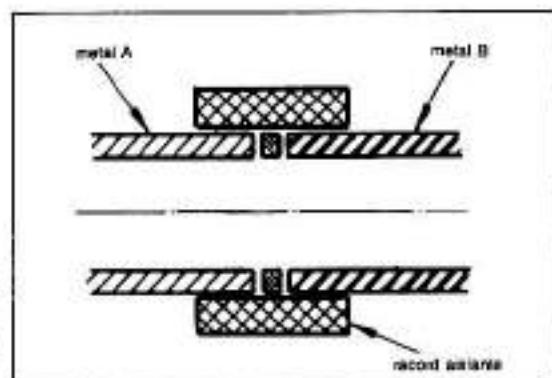


Fig. 6.— Con la interposición de un material aislante de la corriente eléctrica, ésta no pasa de un metal a otro, y se impide la corrosión.

En el caso de utilizar **agua caliente sanitaria**, debido a la continua **renovación** del líquido, la aportación de oxígeno es muy elevada, mientras que los problemas entre metales diferentes dependerán de la conductividad del agua.

En **aguas blandas** predomina el efecto del **oxígeno**, ya que, al ser muy puras, su resistividad eléctrica es muy elevada y la intensidad de corriente que circula entre dos metales diferentes es pequeña, con lo que la corrosión electroquímica también lo es.



En **aguas duras**, especialmente las calcáreas, se deposita una capa de cal que dificulta el ataque del oxígeno y crea una película de alta resistencia eléctrica, que dificulta el paso de la corriente y por lo tanto la corrosión de forma general.

En **aguas salinas**, la acción del oxígeno sigue su curso normal, mientras que, dada la escasa resistividad del agua salina, la intensidad de corriente es elevada, predominando la corrosión electroquímica.

En los casos de un acumulador con dos intercambiadores de calor, los problemas de corrosión quedan notablemente reducidos, pudiéndose limitar a corrosiones en el interior de la tubería de intercambio del circuito de agua potable de consumo que, por lo general, será de un metal único. Eligiendo adecuadamente este metal, la corrosión prácticamente no tendrá ninguna importancia.

PREVENCION DE LA CORROSION

Existen varios sistemas para evitar la corrosión, tales como:

- No emplear metales (o emplearlos inoxidables).
- Emplear líquidos no conductores de la corriente eléctrica.
- Utilización de aditivos.
- Anodos de sacrificio.
- Corriente impresa.

Desgraciadamente, la posibilidad de **no emplear metales** en energía solar está un poco lejana. Es cierto que se fabrican tubos de material plástico (incluso para agua caliente), acumuladores de **poliéster** reforzado con fibra de vidrio e incluso paneles solares de plástico para piscinas. Si se pueden utilizar estos elementos no metálicos, con las debidas garantías, pueden ser una baza importante en la lucha contra la corrosión. Igualmente se pueden utilizar materiales **inoxidables** (generalmente acero inoxidable) para determinadas piezas, en especial el acumulador, con lo que evitarán muchos problemas.

El empleo de líquidos no conductores de la corriente eléctrica no siempre es factible debido al elevado coste de estos aceites térmicos y al hecho de que esta solución no puede usarse en el caso de agua caliente sanitaria.

Existe un gran número de **aditivos** que, añadidos al agua en pequeñas proporciones, tienen una acción inhibidora de la corrosión. Estos aditivos pueden usarse en el circuito de paneles y en las instalaciones de calefacción en ambos circuitos.

Los aditivos son de varias clases según el tipo de instalación. Así, en instalaciones de hierro se emplea **hidracina**, que elimina el oxígeno disuelto en el agua, **sosa cáustica**, que alcaliniza el agua, impidiendo que el hierro se corroa, **fosfatos**, que pasivan al hierro haciéndolo inerte, etc.

La utilización de aditivos requiere, en general, una **dosificación correcta** de los mismos, así como frecuentes **análisis químicos** del agua tratada, puesto que tanto una sobredosis como una deficiencia de los mismos puede resultar fatal.

Hemos visto que colocando dos metales diferentes, el de potencial más negativo se corroe, quedando el otro inalterado. Este principio podemos usarlo para proteger la instalación. Para ello bastará disponer de un metal con un potencial inferior a cualquier metal de los que formen la instalación y colocarlo en su interior, cuidando de que haga contacto eléctrico con ella. Metales adecuados para este fin pueden ser el aluminio o el magnesio.

Este método de protección de la corrosión se conoce como **protección catódica con ánodo de sacrificio**. Consiste en colocar un trozo de aluminio o magnesio (ánodo de sacrificio), que generalmente es una barra maciza, en las proximidades de la zona a proteger (pueden colocarse varios ánodos de sacrificio si la zona a proteger es grande) (Fig. 7). Estos ánodos de sacrificio se sitúan de forma que puedan ser **retirados y cambiados** por otros (por ejemplo mediante un tapón roscado). Se ha de procurar, que establezcan contacto eléctrico con la zona que deseamos proteger, ya que de lo contrario no tendrían efecto.

El ánodo de sacrificio se va corroyendo, mientras que la instalación queda protegida. Sin embargo, el ánodo de sacrificio tiene un problema: si la resistividad eléctrica del agua es variable, puede que resulte ineficaz o que se consuma rápidamente.

En efecto, con aguas de gran resistividad, el paso a través del líquido de la corriente eléctrica entre el ánodo y la instalación será pequeño, por lo que el efecto protector estará fuertemente localizado en las proximidades del ánodo de sacrificio, pudiéndose presentar corrosiones en zonas algo alejadas.

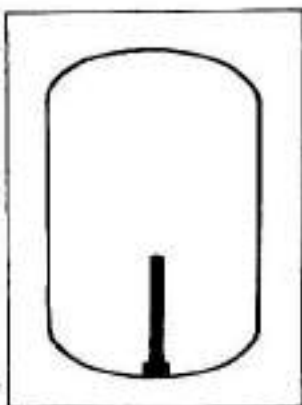


Fig. 7.— Ánodo de sacrificio de magnesio instalado dentro de un depósito de acumulación para protegerlo de la corrosión. El ánodo de sacrificio está unido eléctricamente a la zona metálica a proteger.

Por el contrario, en aguas poco resistivas (salinas), el ánodo de sacrificio se consumirá a gran velocidad, pudiendo llegar el caso de que se consuma totalmente, con lo que cesará la protección, hecho que se agrava por la elevada salinidad del agua.

El sistema de ánodos de sacrificio es útil en instalaciones pequeñas y con agua potable cuyas características no varían mucho de invierno a verano. De este modo, periódicamente (cada año) se cambian los ánodos de sacrificio por otros nuevos sin mayor problema.

Si se desea un método definitivo contra la corrosión, éste es sin duda el empleo de corriente impresa.

Hemos visto que al unir dos metales diferentes aparecía una diferencia de potencial (medible en voltios) y una intensidad de corriente eléctrica entre el metal de mayor potencial y el de menor potencial. Volvamos al ejemplo de la pieza de aluminio y cobre. Si las unimos por una resistencia (por ejemplo de 1.000Ω), circulará entre ellas una intensidad de aproximadamente 2mA , que irá corroyendo el aluminio (recuerde que el aluminio es el polo negativo y el cobre el positivo).

Si ahora, mediante un circuito exterior (fuente de alimentación regulable de corriente continua) conectamos el polo positivo de la fuente de alimentación al aluminio y el negativo al cobre y regulamos la tensión de la fuente para que el amperímetro indique 2mA , la intensidad eléctrica que circulará entre el cobre y el aluminio es nula y por lo tanto no habrá corrosión.

Un equipo de protección catódica por corriente impresa consiste en un transformador, que toma la corriente alterna de la red de 220 V ., seguido de un rectificador que transforma la corriente alterna en continua. El borne negativo de la salida de la corriente continua se conecta eléctricamente a la instalación, mientras que la positiva se conecta a un ánodo (barra de metal, generalmente de aluminio) situado en el interior de la instalación, y naturalmente aislado eléctricamente de ella, para que pueda protegerla (Fig. 8).

El paso de la corriente eléctrica entre el ánodo y la instalación se efectúa a través del agua. Regulando adecuadamente la tensión eléctrica de la fuente de alimentación (cosa que puede hacerse electrónicamente de forma automática) se puede conseguir hacer circular una intensidad

de corriente que anule en todo momento la corriente de corrosión, por lo que no será necesario reponer el ánodo.

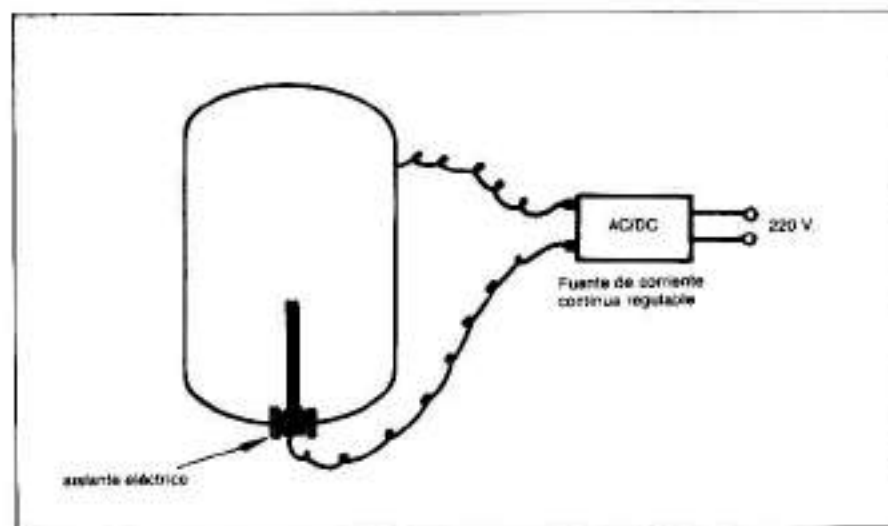


Fig. 8.—Protección catódica por corriente impresa. El ánodo de sacrificio está eléctricamente aislado de la zona metálica a proteger.

La tensión máxima a aplicar está limitada por los posibles peligros que pueda representar, siendo el valor máximo admisible de 42 V.

Obsérvese la diferencia entre la protección catódica por ánodo de sacrificio (conectado eléctricamente a la instalación) y la de corriente impresa con su ánodo aislado eléctricamente de la instalación.

Finalmente diremos que el acero galvanizado, material consistente en recubrir el hierro con zinc, es una protección catódica con ánodo de sacrificio, pues en este caso el zinc se va corroyendo protegiendo al hierro. Sólo cuando todo el zinc ha sido corroído, empieza a deteriorarse el hierro.